



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA CRISTO DEL CONSUELO  
DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: CRISTINA JOANA LÓPEZ SANTANDER**

**DIRECTOR: ING. DANIEL ANTONIO CHUQUÍN VASCO**

**RIOBAMBA- ECUADOR**

2019

**©Cristina Joana López Santander**

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.

Yo, Cristina Joana López Santander, 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, 23 de Julio del 2019.

Cristina Joana López Santander

060460754-9

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: el presente trabajo técnico de “**Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría Cristo del Consuelo de la ciudad de Ambato**” de responsabilidad de la señorita Cristina Joana López Santander ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada así su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco.

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera Msc

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante, a mis padres Fausto y Gloria ya que siempre estuvieron apoyándome moral y económicamente durante toda mi carrera, a mis maestros que supieron guiarme a lo largo de este camino y a mis hermanos: Mayra, Verónica, Alex y Dayana por su apoyo en este arduo camino.

El camino no fue fácil y tampoco sencillo pero con esfuerzo y dedicación se logra lo que se propone cada uno en su momento.

Cristina

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a los maestros que me guiaron y compartieron sus conocimientos para poder terminar este trabajo, y a mis Padres: Fausto y Gloria que me incentivaron a seguir adelante en cada obstáculo presentado.

Cristina

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b>	.....	<b>14</b>
<b>SUMMARY</b>	.....	<b>15</b>
<b>CAPITULO 1</b>	.....	<b>16</b>
<b>1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>		<b>16</b>
<b>1.1. Identificación del problema .....</b>		<b>16</b>
<b>1.2. Justificación del proyecto .....</b>		<b>17</b>
<b>1.3. Línea base del proyecto.....</b>		<b>18</b>
<b>1.3.1. Reconocimiento del lugar de investigación .....</b>		<b>18</b>
<b>1.3.2. Marco Conceptual .....</b>		<b>19</b>
1.3.2.1. Agua .....		19
1.3.2.2. Aguas Residuales .....		19
1.3.2.3. Aguas residuales industriales .....		20
1.3.2.4. Características especiales de las aguas residuales industriales:.....		22
1.3.2.5. Vista general de cueros, pieles y sus productos. ....		22
1.3.2.6. Características de cueros y pieles .....		26
1.3.2.7. Proceso de obtención del cuero .....		28
1.3.2.8. Principios o reglas sobre la conservación de cueros y pieles .....		29
1.3.2.9. Curtiembre.....		30
1.3.2.10. Etapas del proceso .....		31
1.3.2.11. Pelambre.....		36
1.3.2.12. Curtido.....		37
1.3.2.13. Problemas ambientales de la curtiembre .....		44
1.3.2.14. Carga contaminante generada por las curtiembres .....		46
1.3.2.15. Tratamientos químicos .....		47
<b>1.4. Beneficiarios directos o indirectos .....</b>		<b>48</b>
<b>1.4.1. Beneficiarios directos .....</b>		<b>48</b>

1.4.2.	<i>Beneficiarios indirectos</i> .....	48
<b>CAPITULO 2</b>	.....	<b>49</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>49</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objetivo general</b> .....	49
<b>2.2.</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	49
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>50</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR</b> .....	<b>50</b>
<b>3.1.</b>	<b>Localización del proyecto</b> .....	50
<b>3.2.</b>	<b>Ingeniería del proyecto</b> .....	50
<b>3.2.1.</b>	<i>Tipo de estudio</i> .....	51
<b>3.2.2.</b>	<i>Métodos</i> .....	51
3.2.3.	Técnicas.....	51
3.2.4.	<i>Toma y monitoreo de muestras</i> .....	52
3.2.5.	Análisis de Laboratorio .....	53
3.2.5.1.	Diagnóstico de la planta .....	57
3.2.5.2.	Cálculo de la eficiencia del agua de Pelambre .....	58
3.2.5.3.	Cálculo de la eficiencia del agua de Curtido .....	58
3.2.5.4.	Caracterización del agua residual de la planta .....	58
3.2.5.5.	Índice de biodegradabilidad .....	59
3.2.5.6.	Elección del tipo de tratamiento .....	60
<b>3.2.6.</b>	<b><i>Pruebas de tratabilidad</i></b> .....	<b>60</b>
3.2.6.1.	Test de jarras .....	61
3.2.6.2.	Elección del coagulante.....	64
3.2.6.3.	Elección del pH optimo .....	64
3.2.6.4.	Elección de la dosis de PAC a pH constante de 9 .....	65
3.2.6.5.	Elección floculante a una concentración de 70 ppm de PAC y un pH de 9. 66	
3.2.6.6.	Elección del tiempo de aireación del agua residual de “Pelambre” .....	67
3.2.6.7.	Elección de la dosis del coagulante $Al_2(SO_4)_3$ .....	68
<b>3.2.7.</b>	<b><i>Determinar las variables y parámetros del proceso para el sistema de tratamiento de aguas residuales</i></b> .....	<b>70</b>
<b>3.2.8.</b>	<b><i>Cálculos de ingeniería</i></b> .....	<b>70</b>
3.2.8.2.	Dimensionamiento del tanque de aireación.....	70
3.2.8.3.	Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación .....	74

3.2.8.4.	Dimensionamiento del Tanque Decantador primario circular .....	78
<b>3.3.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>80</b>
3.3.1.	<i>Caracterización de los efluentes .....</i>	80
3.3.2.	<i>Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua residual.....</i>	81
3.3.3.	<i>Dimensionamiento del tanque de coagulación- floculación.....</i>	81
3.3.4.	<i>Dimensionamiento tanque decantador primario circular.....</i>	82
3.3.5.	<i>Resultado del tratamiento de aguas residuales .....</i>	82
3.3.6.	<i>Comparación de resultados de agua residual antes y después del tratamiento .....</i>	84
3.3.7.	<i>Rendimiento de tratabilidad (Porcentaje de remoción) .....</i>	84
3.3.7.1.	Porcentaje de remoción de turbiedad .....	85
3.3.7.2.	Porcentaje de remoción de solidos sedimentables.....	85
3.3.7.3.	Porcentaje de remoción Sólidos totales.....	85
3.3.7.4.	Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno .....	85
3.3.7.5.	Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	86
3.3.7.6.	Porcentaje de remoción de sulfuros y sulfatos en el agua residual de pelambre .....	86
3.3.7.7.	Porcentaje de remoción de cromo hexavalente y cromo total en el agua residual de curtido .....	86
<b>3.4.</b>	<b>Proceso de producción .....</b>	<b>86</b>
3.4.1.	<i>Dosificación para el agua de Pelambre .....</i>	86
3.4.1.1.	Dosificación del sulfato de manganeso a nivel de laboratorio .....	87
3.4.1.2.	Dosificación del sulfato de manganeso a nivel industrial .....	87
3.4.1.3.	Dosificación del coagulante sulfato de aluminio a nivel de laboratorio.....	87
3.4.1.4.	Dosificación del coagulante sulfato de aluminio a nivel industrial .....	88
3.4.2.	<i>Dosificación para el agua de Curtido .....</i>	88
3.4.2.1.	Dosificación del coagulante Policloruro de aluminio .....	88
3.4.2.2.	Dosificación del coagulante Poli cloruro de aluminio a nivel industrial....	88
3.4.2.3.	Dosificación cal a nivel industrial .....	89
3.4.3.	<i>Propuesta del sistema de tratamiento .....</i>	89
<b>3.5.</b>	<b>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.....</b>	<b>90</b>

3.5.1.	<i>Requerimientos de materiales y equipos para el muestreo de caudal de aguas residuales</i> .....	90
3.5.2.	<i>Requerimientos de equipos y método para realizar la caracterización física química del agua residual de pelambre y curtido.</i> .....	90
3.6.	<b>Requerimiento de costos</b> .....	91
3.6.1.	<i>Costos para el tratamiento de aguas residuales</i> .....	91
3.6.2.	<i>Costo de la dosificación de los diferentes químicos a utilizarse en la tratabilidad del agua residual</i> .....	91
3.7.	<b>Cronograma de ejecución del proyecto</b> .....	92

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Parámetros para la curtiembre en diferentes países .....	31
<b>Tabla 2-1:</b> Tipos de curtición .....	39
<b>Tabla 3-1:</b> Curtido blanco o al alumbre .....	40
<b>Tabla 4-1:</b> Curtido al tanino .....	40
<b>Tabla 5-1:</b> Principales productos químicos utilizados en el proceso de curtición.....	43
<b>Tabla 6-1:</b> Semireacción .....	46
<b>Tabla 7-1:</b> Factores de riesgo y control.....	45
<b>Tabla 1-3:</b> Procedimiento para la demanda de oxígeno en el agua residual NTE INEN 1202 .	53
<b>Tabla 2-3:</b> Procedimiento para la demanda de oxígeno según la norma NTE INEN 1203.....	54
<b>Tabla 3-3:</b> Procedimiento utilizado para la determinación de sulfuros.....	54
<b>Tabla 4-3:</b> Procedimiento utilizado para determinar la turbiedad.....	55
<b>Tabla 5-3:</b> Procedimiento utilizado para Sólidos suspendidos.....	55
<b>Tabla 6-3:</b> Procedimiento utilizado para determinar la conductividad .....	55
<b>Tabla 7-3:</b> Procedimiento utilizado para Sólidos totales.....	56
<b>Tabla 8-3:</b> Procedimiento para Determinación de potencial de hidrogeno .....	56
<b>Tabla 9-3:</b> Procedimiento para determinar Cromo hexavalente.....	57
<b>Tabla 10-3:</b> Caracterización inicial del agua residual de “Pelambre” .....	59
<b>Tabla 11-3:</b> Caracterización inicial del agua residual de “Curtido” .....	59
<b>Tabla 12-3:</b> Elección del coagulante del agua residual de “Pelambre”.....	64
<b>Tabla 13-3:</b> Elección del coagulante del agua residual de “Curtido”.....	64
<b>Tabla 14-3:</b> Elección del pH óptimo del agua residual de “Curtido”.....	65
<b>Tabla 15-3:</b> Dosis del coagulante (PAC) a un pH de 9 .....	66
<b>Tabla 16-3:</b> Elección del Floculante .....	67
<b>Tabla 17-3:</b> Elección del tiempo de aireación con ayuda de $MnSO_4$ .....	67
<b>Tabla 18-3:</b> Elección de la dosis de coagulante .....	68
<b>Tabla 19-3:</b> Elección del Floculante .....	69
<b>Tabla 20-3:</b> Propiedades del agua a diferentes temperaturas .....	72
<b>Tabla 21-3:</b> Parámetros para determinar el tipo de decantador a utilizar.....	78
<b>Tabla 22-3:</b> Caracterización de la planta de Tratamiento .....	81
<b>Tabla 23-3:</b> Dimensionamiento del tanque de aireación.....	81
<b>Tabla 24-3:</b> Dimensionamiento del tanque coagulación-floculación.....	82
<b>Tabla 25-3:</b> Dimensionamiento tanque decantador primario circular.....	82

<b>Tabla 26-3:</b> Resultado de pruebas de tratabilidad “Pelambre” .....	83
<b>Tabla 27-3:</b> Resultados análisis agua residual de “Curtido” .....	83
<b>Tabla 28-3:</b> Comparación del agua antes y después del tratamiento “Pelambre” .....	84
<b>Tabla 29-3:</b> Comparación del agua antes y después del tratamiento “Curtido” .....	84
<b>Tabla 30-3:</b> Porcentaje de remoción de turbiedad.....	85
<b>Tabla 31-3:</b> Porcentaje de remoción sólidos sedimentables.....	85
<b>Tabla 32-3:</b> Porcentaje de remoción sólidos totales.....	85
<b>Tabla 33-3:</b> Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno .....	85
<b>Tabla 34-3:</b> Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	86
<b>Tabla 35-3:</b> Porcentaje de remoción de sulfuros y sulfato .....	86
<b>Tabla 36-3:</b> Porcentaje de remoción de cromo hexavalente y cromo total .....	86
<b>Tabla 37-3:</b> Materiales y equipos para el muestreo del caudal .....	90
<b>Tabla 38-3:</b> Materiales y reactivos para realizar pruebas de coagulación-floculación .....	90
<b>Tabla 39-3:</b> Determinación de los costos del Sistema de tratamiento de agua residual.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Cuero y Calzado.....	22
<b>Figura 2-1:</b> Esquema de las zonas de una piel fresca.....	23
<b>Figura 3-1:</b> Corte esquemático de la piel .....	26
<b>Figura 4-1:</b> Técnica para conservar la piel.....	29
<b>Figura 5-1:</b> Proceso de producción del cuero.....	28
<b>Figura 6-1:</b> Flujo grama de curtiembre .....	35
<b>Figura 7-1:</b> Esquema del proceso.....	36
<b>Figura 8-1:</b> Equipo de aireación.....	37
<b>Figura 9-1:</b> Curtido .....	39
<b>Figura 1-3:</b> Localización de la planta de tratamiento aguas residuales .....	50
<b>Figura 2-3:</b> Prueba de tratabilidad para determinar el pH óptimo .....	62
<b>Figura 3-3:</b> Prueba de tratabilidad para determinar la concentración óptima de coagulante ....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafica 1-1:</b> Bombos.....	37
<b>Grafica 2-1:</b> Curtido de piel .....	38
<b>Grafica 3-1:</b> Preparación del tanino y posterior mezcla con la solución de alumbre.....	41
<b>Grafica 4-1:</b> Control del proceso de curtido: absorción de tanino .....	42
<b>Grafica 5-1:</b> Preparación de emulsión y aplicación de la misma para nutrir el cuero.....	42
<b>Grafica 6-1:</b> Estaqueado de cueros .....	43
<b>Grafica 1-3:</b> pH óptimo Curtido.....	65
<b>Grafica 2-3:</b> Dosis PAC Curtido .....	66
<b>Grafica 3-3:</b> Tiempo de aireación .....	68
<b>Grafica 4-3:</b> Dosis Sulfato de aluminio Pelambre.....	69

## RESUMEN

El objetivo fue el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en una empresa de curtiembre “Cristo del Consuelo” ubicada en la ciudad de Ambato, mediante la implementación de un tanque de aireación, un decantador primario y un sistema de coagulación floculación dependiendo del tipo de proceso a utilizarse como es pelambre y curtido. Se realizó la determinación de variables como son: el caudal y la dosificación exacta para el tratamiento mediante pruebas se determinó los parámetros inicial y final de las muestras como son: en la muestra de pelambre presentaba una turbiedad de 1109 NTU, pH de 12.28, DQO de 11 771 mg/l, DBO de 7430 mg/l, sólidos sedimentables 2.9 ml/l, sólidos totales 10.72 g/l, sulfuros 945.77 mg/l y sulfatos 1516.67 mg/l. Luego del tratamiento se determinó: DQO de 220 mg/l, DBO de 144 mg/l, sólidos sedimentables de 1 ml/l, sólidos totales de 1.2 g/l, sulfuros de 12.8 mg/l y sulfatos de 1350 mg/l. El promedio de la muestra de curtido presentaba una turbiedad de 10.89 NTU y un pH de 4.34, además de otros parámetros como: DQO de 15 700 mg/l, DBO de 12 300 mg/l, sólidos sedimentables 2.33 ml/l, sólidos totales de 16.79 g/l, cromo hexavalente de 0.070 mg/l y cromo total 109.24 mg/l. Y después del tratamiento es de DQO 490 mg/l, DBO 170 mg/l, sólidos sedimentables 1 ml/l, sólidos totales 2.2 g/l, cromo hexavalente 0.031 mg/l y cromo total 11.82 mg/l, en el capítulo tres se determinó la ingeniería del proyecto así como la factibilidad del rediseño en la planta, en la actualidad la empresa no cuenta con un Sistema de tratamiento por ende la implementación de la misma llevaría a la reducción de contaminantes que afectan directamente a las personas que viven alrededor así como al medio ambiente.

**Palabras clave:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, PROCESOS INDUSTRIALES, CURTIEMBRE, CONDUCTIVIDAD, SULFUROS, SULFATOS, TURBIEDAD, SÓLIDOS TOTALES.

## SUMMARY

The aim was the wastewater treatment system redesign in “Cristo del Consuelo” tannery company, located in Ambato city. It was made through the implementation of an aeration tank, a primary decanter and a flocculation coagulation system which was selected depending on the type of process to be used as pelts and tanning. The determination of variables such as: the flow rate and the exact dosage for the treatment by means of tests was determined the initial and final parameters of the samples such as: in the simple of hair presented a turbidity of 1109 NTU, pH of 12.28, COD of 11 771 mg/l, BOD of 7430 mg/l, settleable solids 2.9 ml/l, total solids 10.72 g/l, sulfides 945.77 mg/l and sulfates 1516.67 mg/l. After treatment, the following were determined: COD of 220 mg/l, BOD of 144 mg/l, sedimentable solids of 1 ml/l, total solids of 1.2 g/l, sulphides of 12.8 mg/l and sulfates of 1350 mg/l. The average of the tanning simple showed a turbidity of 10.89 NTU and a pH of 4.34, in addition to other parameters such as: COD of 15 700 mg/l, BOD of 12 300 mg/l, solid settleable of 2.33 ml/l, total solids of 16.79 g/l, hexavalent chromium of 0.070 mg/l and total chromium of 109.24 mg/l. And after the treatment is of COD 490 mg/l, BOD 170 mg/l, settleable solids 1 ml/l, total solids 2.2 g/l, hexavalent chromium 0.031 mg/l and total chromium 11.82 mg/l, in chapter three determined the engineering of the Project as well as the feasibility of the redesign in the plant, nowadays the company does not have a treatment system. Therefore, its implementation would lead to the reduction of the pollutants, which can directly affect people living around and also the environment.

**Keywords:** CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INDUSTRIAL PROCESSES, TANNERY, CONDUCTIVITY, SULPHIDES, SULPHATES, TURBIDITY, TOTAL SOLIDS.

## CAPITULO 1

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

En la curtiembre se emplean se emplean dos procesos fundamentales: pelambre que consiste en retirar el pelo o la lana de la piel de un animal se utilizan grandes cantidades de agua y la adición de productos químicos como cal P-24 y sulfuro de sodio; en cambio el curtido que transforma la piel, la cual es un sustancia en proceso de descomposición por medio de sales de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) que se utilizan para convertir la piel en lo que conocemos como el cuero (Zapata, [sans date]).

La empresa por la actividad que realiza genera una cantidad considerable de aguas residuales que presentan un impacto negativo a nivel ambiental por la presencia de materia orgánica y sustancias químicas propias del proceso. A pesar de que dicha empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con los últimos estudios realizados por el Ministerio de Ambiente (MAE) las mismas no cumplen con lo descrito en la Tabla N°8: Limites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Publico, Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua según el Acuerdo Ministerial N°097 publicado en Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015, es por ello, que entre el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Tungurahua y el MAE exigen el cumplimiento de dichas regulaciones para evitar futuras sanciones (Ministerio del Ambiente, 2015).

Las actividades humanas, comerciales e industriales están contaminando las aguas que normalmente son usadas para la productividad agrícola, es así que el Ministerio del Ambiente (MAE) regula estas actividades exigiendo según la legislación ambiental que el agua captada sea devuelta aguas arriba en iguales o mejores condiciones que las iniciales, y dentro de parámetros según el texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS) cuando es descargada al alcantarillado (Morocho, 2017).

La contaminación de las aguas residuales de las curtidurías es un problema global. A nivel mundial, el 80% de ellas usan el procedimiento a base de cromo, y el 20% restante recurre a

taninos vegetales, orina, grasa, alumbre, etc. Los procesos de curtido pueden crear problemas para el medio ambiente de varias maneras, el curtido de cada tonelada de cueros produce alrededor de 190 kg de recortes y restos de los cueros durante la preparación para el curtido, 215 kg de recortes y raspaduras de los cueros curtidos y 34 kg de recortes y polvo de los cueros curtidos, acabados y teñidos, aunque la mayor parte de este material se puede utilizar de distintas maneras (Ra et al., 1998).

La industria de la curtiembre constituye una actividad económica importante en ciertas provincias del país, sin embargo, por las características propias de este proceso genera contaminación en los diferentes componentes ambientales. Uno de los mayormente afectados es el agua con la descarga de efluentes con elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, en diferentes condiciones de acidez o alcalinidad y elementos tóxicos como el sulfuro y el cromo, que ponen en riesgo la integridad del ambiente y la salud de las personas (Cerón, 2011).

Los residuos de curtido sin tratar en las aguas superficiales pueden producir un rápido deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Sencillos procesos del tratamiento del efluente a su vertido permiten eliminar más del 50 % de sólidos en suspensión y de la demanda bioquímica de oxígeno. Otras medidas más sofisticadas permiten alcanzar niveles más elevados de tratamiento. Como los efluentes del curtido contienen varios componentes químicos que necesitan tratarse, debe emplearse, a su vez, una serie de procesos de tratamiento. La segregación del caudal es útil para permitir el tratamiento separado de flujos de residuos concentrados. La descomposición biológica de la materia orgánica así como las emisiones de sulfuros y amoníaco de las aguas residuales son responsables de los característicos olores desagradables que desprenden las curtidurías (Hansel Córdova Bravo;Et.al., 2014).

## **1.2. Justificación del proyecto**

En el Ecuador la industria de la manufactura es una de las principales actividades económicas con un aporte del 19.5% a las efluentes de empleo a nivel nacional ubicándola dentro de las 5 actividades principales que concentra el 73% de todas las empresas (Porras, 2010).

Un análisis preparado por Landell Mills Commodities Studies (LMC) para la Organización Internacional del Trabajo (OIT) muestra que el mercado internacional de pieles está dominado cada vez más por unos pocos países productores de América del Norte, Europa Occidental y Oceanía, que permiten la libre exportación de pieles en cualquier forma. Varios factores influyen

en la demanda global de cuero en todo el mundo: el nivel de ingresos, su tasa de crecimiento y su distribución; el precio del cuero en comparación con los materiales alternativos; y los cambios en la preferencia de los consumidores por el cuero sobre los materiales alternativos en distintos productos (Cuero, 2015).

Las pieles y el cuero fabricados a partir de pellejos de animales se utilizan desde hace miles de años para confeccionar prendas de vestir. La industria de la piel y el cuero sigue siendo importante en la actualidad. Con las pieles se fabrican gran variedad de prendas exteriores, como abrigos, chaquetas, sombreros, guantes y botas, así como adornos para otros tipos de prendas. El calzado es otro producto tradicional del cuero (Mccann, 2014).

El presente estudio se enfoca en el rediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de disminuir la contaminación al medio ambiente (especialmente cromo y azufre) que tiene el proceso en la elaboración del cuero. Además, el mencionado proyecto aportara con una solución para disminuir los agentes químicos y el impacto ambiental producido en la microempresa de cueros “CRISTO DEL CONSUELO” ubicada en Ambato, provincia del Tungurahua, la cual se dedica a la elaboración de guantes

El tratamiento de los lodos constituye el principal problema de eliminación, aparte del efluente. Los lodos de composición orgánica, si están libres de cromo o sulfuros, sirven para acondicionar suelos y de fertilizante por los compuestos nitrogenados que contienen.

### **1.3. Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1. Reconocimiento del lugar de investigación***

La Curtiembre Cristo del Consuelo lleva su nombre en honor a un santo que es muy conocido en la Ciudad de Guayaquil, cuyo propietario es la Sra. Blanca Sailema, está ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, en Picaihua, fue creada en el año de 1966 como un taller e inicio sus actividades de fabricación de artículos de cuero en el año 2016 desde este momento empieza a trabajar.

### **1.3.2. Marco Conceptual**

#### **1.3.2.1. Agua**

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico. En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 km<sup>3</sup> / año, cifra que en 1995 se situaba en 752 km<sup>3</sup> / año. El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles (Rodríguez Fernández-Alba Pedro Letón García Roberto Rosal García Miriam Dorado Valiño Susana Villar Fernández Juana Sanz García, Empresarial Madrid -ceoe, 2012).

#### **1.3.2.2. Aguas Residuales**

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (García et al., 2002).

#### **Tipos de aguas residuales:**

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo (García et al., 2002).

### **Tipos de componentes del agua:**

#### **Físicos**

- ✓ Temperatura
- ✓ Turbidez
- ✓ Color
- ✓ Sólidos (totales, fijos y volátiles)
- ✓ Olor

#### **Químicos**

- ✓ Materia orgánica (principales compuestos: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites)
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ✓ Carbono Orgánico Total (COT)
- ✓ Demanda Total de Oxígeno (DTO)
- ✓ Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO)
- ✓ Materia inorgánica (principalmente: pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, azufre, compuestos tóxicos, metales pesados, gases).

#### **Biológicos**

- ✓ Bacterias
- ✓ Virus
- ✓ Algas
- ✓ Protozoos
- ✓ Hongos (García et al., 2002)

#### *1.3.2.3. Aguas residuales industriales*

Los efluentes industriales deben su diversidad a los procesos de los que proceden, y, en función de ellos, pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción.

Los componentes de dichos vertidos se pueden clasificar, según los métodos de tratamiento, en:

- Elementos insolubles separables físicamente
  - ✓ Materias grasas flotantes: grasas, hidrocarburos, alquitranes, aceites. Estas sustancias provocan olor y sabor desagradables, ensucian las instalaciones de tratamiento, y pueden producir la muerte de peces por asfixia, al recubrir las branquias, y de gran variedad de algas e insectos acuáticos.
  - ✓ Materias sólidas en suspensión: arenas, óxidos, hidróxidos, pigmentos, azufre coloidal, látex, fibras, etc. Pueden requerir coagulación-floculación para ser eliminadas.
  
- Elementos orgánicos separables por adsorción: colorantes, detergentes, compuestos macromoleculares diversos y compuestos fenolados.
  
- Elementos separables por precipitación
  - ✓ Metales: hierro, cobre, zinc, níquel, berilio, titanio, aluminio, plomo, mercurio y cromo, precipitables en un rango determinado de pH. Estos metales pueden llegar a estar implicados en ciclos bioquímicos complejos.
  - ✓ Sulfitos, fosfatos, sulfatos y fluoruros: pueden ser precipitados por adición de determinados cationes.
  
- Elementos que pueden precipitar en forma de sales insolubles de hierro o en forma de complejos: sulfuros, fosfatos, cianuros y sulfocianuros. El cianuro impide las reacciones de oxidación del fósforo.
  
- Elementos separables por desgasificación: ácido sulfhídrico, amoníaco, alcoholes, fenoles y sulfuros.
  
- Elementos que necesitan una reacción de oxidación-reducción: cianuros, cromo hexavalente, sulfuros, cloro y nitritos.

- ✓ Ácidos y bases: Ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico y fluorhídrico. Bases diversas.
- Elementos que pueden concentrarse por intercambio iónico o por ósmosis inversa:
  - ✓ Radionúclidos: Los isótopos más importantes, por su acumulación en las cadenas tróficas son  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  y  $^{32}\text{P}$
  - ✓ Sales de ácidos y bases fuertes: compuestos orgánicos ionizados (intercambio iónico) o no ionizados (ósmosis inversa).
- Elementos que se eliminan mediante tratamiento biológico: azúcares, proteínas y fenoles. Los tratamientos biológicos pueden aplicarse también, después de una fase de adaptación de los microorganismos, a compuestos orgánicos tales como el fenol, la anilina y ciertos detergentes (García et al., 2002).

#### 1.3.2.4. *Características especiales de las aguas residuales industriales:*

- Elevada carga orgánica.
- Presencia de componentes tóxicos para los microorganismos (que son los responsables de los procesos biológicos de tratamiento).
- Presencia de sustancias no biodegradables o difícilmente biodegradables (García, 2010).

#### 1.3.2.5. *Vista general de cueros, pieles y sus productos.*



**Figura 1-1:** Cuero y Calzado  
**Fuente:** (La et al., 2018).

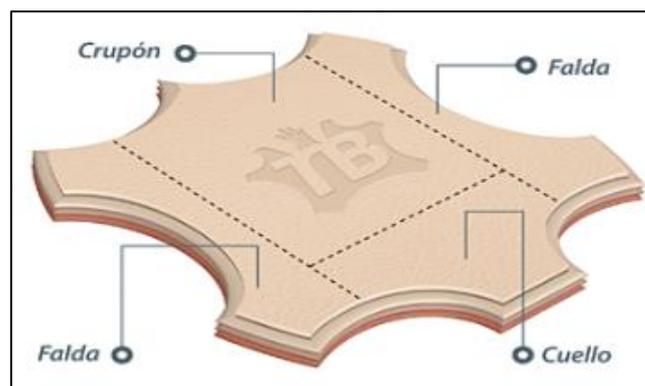
El cuero es la piel del animal preparada químicamente para producir un material robusto, flexible y resistente a la putrefacción. Casi toda la producción mundial de cuero procede de pieles de ganado vacuno, caprino y lanar. También se emplean, en menor proporción, pieles de caballo, cerdo, canguro, ciervo, foca, morsa y diversos reptiles (Peña, 2012).

El cuero se emplea para una amplia gama de productos. La variedad de pieles y de sistemas de procesado producen cueros suaves como telas o duros como suelas de zapato. Las pieles de bovino, la principal materia prima de la producción de cuero, pueden ser ligeras y flexibles o duras y resistentes. Estas últimas se emplean para producir cuero destinado a suelas de zapatos, correas de transmisión de máquinas, juntas de motores o arneses, entre otras aplicaciones (Peña, 2012).

### Zonas en que se divide la piel

La piel es el tegumento membranoso, resistente y elástico que cubre el cuerpo de los animales, constituyendo una envoltura defensiva del organismo frente a múltiples agentes: frío, calor, humedad, parásitos, además de un notable órgano respiratorio, así como un eficaz regulador de la temperatura, y órgano activo de la excreción por el sudor; en ella, por último, residen tres sentidos importantes: calor, tacto y dolor (Ramos, 2012).

En la piel fresca existen zonas de estructura bastante homogéneas de acuerdo a su espesor y grado de compactación. Se pueden diferenciar tres grandes zonas:



**Figura 2-1:** Esquema de las zonas de una piel fresca.  
**Fuente:** (Villa, 2016).

#### ➤ **Crupón**

Corresponde a la parte de la piel de la región dorsal y lumbar del animal. Es la parte más homogénea, tanto en espesor como en estructura dérmica. Es además la más compacta y por lo

tanto la más valiosa. Su peso aproximado es de un 46 % con relación al total de la piel fresca. La piel de la parte superior de la cabeza se conoce como testuz y las partes laterales se le llama carrillos (Villa, 2016).

#### ➤ **Cuello**

Corresponde a la piel del cuello y la cabeza del animal. Su espesor y compacidad son irregulares y de estructura fofa. La superficie del cuello presenta y profundas arrugas que serán tanto más marcadas cuando más viejo sea el animal. La piel del cuello viene a representar un 26% del peso total de la piel (Villa, 2016).

#### ➤ **Falda**

Corresponden a la parte de la piel que cubre el vientre y las patas del animal. Presenta grande irregularidades en cuanto a espesor y capacidad, encontrándose en las zonas de las axilas las partes más fofas de la piel; las de las patas se encuentran algo cornificadas. El peso de las faldas corresponde un 28% del total. En una piel además se distinguen: el lado externo de la piel que contiene el pelaje del animal, y una vez eliminado este se llama lado de la flor. El lado interno de la piel, que se encontraba junto a la carne del animal se llama «lado de la carne» (Villa, 2016).

El aspecto de una piel extendida comprende: el Crupón o lomo, el cuello, la cabeza, las patas, los flancos y la cola. Aunque a simple vista pueda parecer lo contrario, la estructura de la piel de los distintos animales ofrece gran similitud, si bien, las diferencias de con textura y grosor hacen que su empleo práctico varié de modo considerable. Las pieles no presentan en toda su extensión el mismo espesor; a partir de los flancos, a los que van unidas las patas, son mucho más delgadas y débiles que el Crupón, Cortando transversalmente una piel , se puede apreciar la estructura interna de la piel, dividida en dos partes netamente diferenciadas : una superior, denominada epidermis , que durante las operaciones de preparación del curtido es eliminada junto con el pelo , y otra situada debajo de la anterior, la dermis o cortón , que constituye la parte esencial de la piel, la que nos dará el cuero (Ramos, 2012).

### **Funciones básicas de la piel**

#### ➤ **Protección**

La piel protege al cuerpo de ataques mecánicos, físicos, químicos o microbianos desde el exterior. Protege el cuerpo de mecánicos, físicos, químicos o microbianos ataque que provienen del

exterior a través de, entre otros, mecanismos celulares e inmunológicos y su impermeabilidad, resistencia y flexibilidad (Villa, 2016).

#### ➤ **Transmisión**

La piel se utiliza para transmitir información entre el cuerpo y el mundo exterior a través de sus múltiples terminaciones nerviosas que reciben estímulos táctiles, térmicos y dolorosos (Villa, 2016).

#### ➤ **Intercambio**

La piel es el lugar donde se llevan a cabo numerosos intercambios entre el organismo y el exterior. Asimismo, participa en mecanismos complejos, como la regulación de la temperatura corporal (por la eliminación de calor y la evaporación del sudor secretado por las glándulas sudoríparas, así como la eliminación de sustancias nocivas), y la síntesis de vitamina D, que es esencial para el crecimiento de los huesos (Villa, 2016).

### **Estructura de la piel**

La piel es un órgano constituido por tres capas: epidermis, dermis o corium y tejido subcutáneo o endodermis.

- **Epidermis:** en la epidermis se insertan los folículos capilares que dan origen a los pelos, representa el 1% del espesor total de la piel y es eliminada durante el proceso de depilación.
- **Dermis o corium:** es la capa principal desde el punto de vista de la industria del curtido ya que representa el 85% del espesor de la piel. Se encuentra situada inmediatamente por debajo de la dermis y está separada de ella por la membrana hialina. Esta membrana presenta el típico grano, el cual es característico de cada animal. La dermis presenta dos regiones distintas:
  - ✓ Dermis papilar constituida por vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas y fibras de colágeno ubicadas en forma perpendicular a la superficie;
  - ✓ Dermis reticular constituida por células conjuntivas y fibras de colágeno oblicuas y más gruesas que las de la capa anterior.

- **Tejido subcutáneo o endodermis:** constituye el 15% del espesor total de la piel y se elimina durante el descarnado. Está constituido por tejido conjuntivo laxo (Roberto, 2005).



**Figura 3-1:** Corte esquemático de la piel  
**Fuente:** (Roberto, 2005).

La piel ejerce una acción protectora, pero al mismo tiempo también cumplen otras funciones como:

- Regular la temperatura del cuero
- Eliminar sustancias de desecho
- Albergar órganos sensoriales que nos faciliten la percepción de las sensaciones térmicas, táctiles y sensoriales.
- Almacenar sustancias grasas.
- Proteger el cuerpo de la entrada de bacterias (Villa, 2016).

#### 1.3.2.6. Características de cueros y pieles

### Tipos de pieles

La estructura de las pieles varía según la especie, hábitos de vida, estación del año, edad, sexo y crianza que hayan recibido hasta la faena.

### Pieles de bovinos

Los cueros bovinos tanto de vacas como de vaquillonas, están constituidos por un tejido fibroso y elástico que una vez procesado dan un corte y grano aptos para su uso en confecciones finas. En el caso de novillos, novillitos y torunos jóvenes sus cueros son de mayor espesor y el tejido conjuntivo es menos elástico, dando un corte y grano más grueso.

En general los vacunos jóvenes dan cueros de mayor calidad que los adultos. Las pieles de becerro poseen una estructura más fina debido a que los folículos capilares son más pequeños y están

mucho más juntos entre sí. Estas pieles provienen de terneros lecheros machos que son faenados cuando su desarrollo permite obtener un razonable rendimiento carnicero.

### **Pieles de caprinos**

De esta especie se obtienen pieles muy finas destinándose estas a la confección de zapatos, de alto precio, guantes y otras obras. De los animales más jóvenes se obtienen cueros más finos y de mayor valor como es la cabritilla. La piel de cabra en cambio, posee una estructura más fibrosa y compacta.

### **Pieles de equinos**

Los cueros de equinos son de menor calidad que los vacunos. Se los pueden dividir en dos zonas:

- La sección delantera tiene una piel relativamente liviana siendo su textura muy similar a algunos tipos de cueros caprinos;
- La sección relacionada con la región de los cuartos traseros se caracteriza por ser una piel mucho más gruesa y compacta.

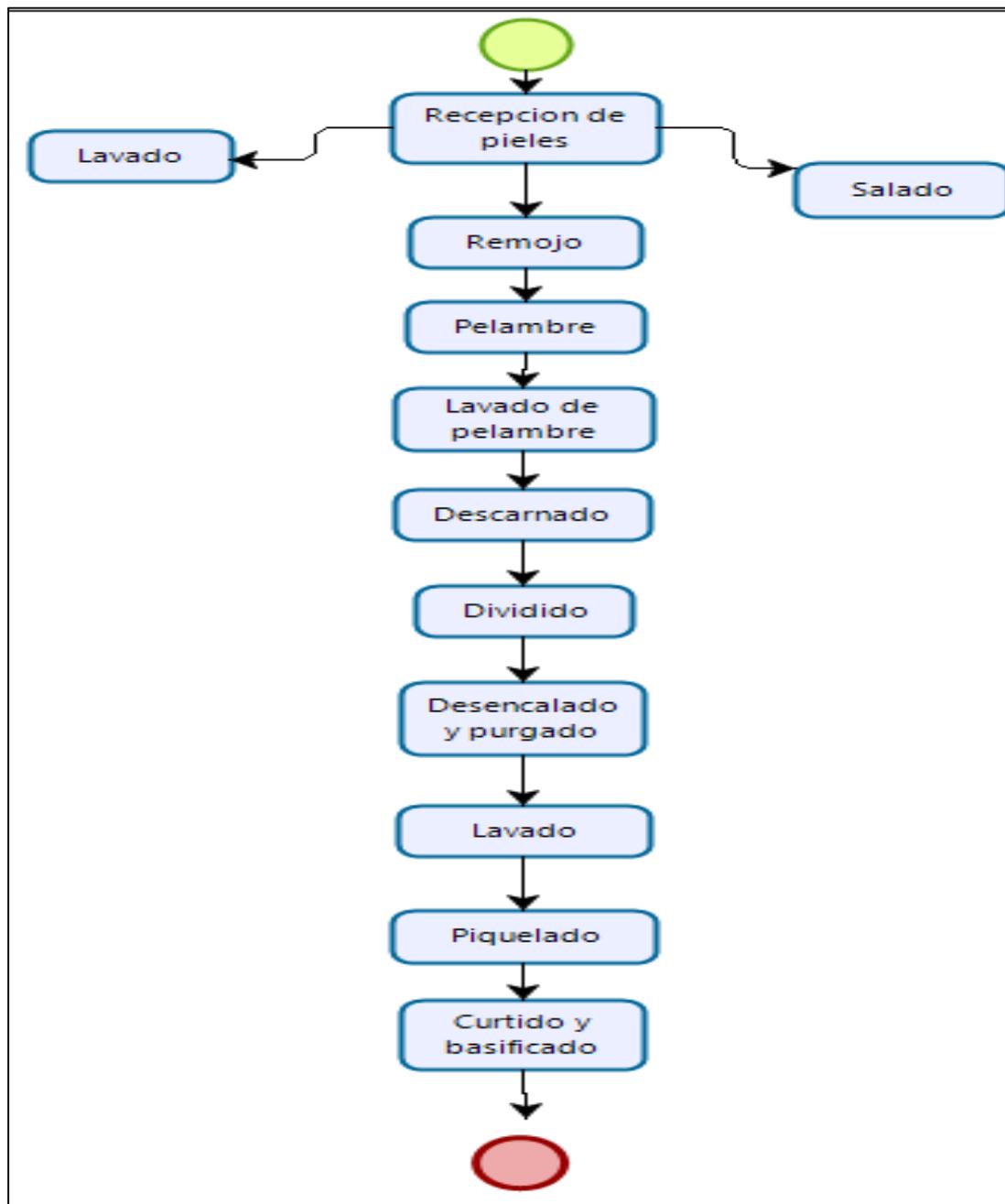
### **Pieles de ovinos**

La piel de los ovinos es fina, flexible y extensible. En general las de mayor calidad se obtienen de aquellas razas cuya lana es de escaso valor y de animales jóvenes. Son utilizadas para la fabricación de guantes, zapatos, bolsos, etc.

### **Pieles de cerdo**

La estructura de la piel del cerdo doméstico posee una capa de grasa ubicada por debajo de la piel superficial, presenta poco pelo. El tejido es relativamente compacto y resistente, con gran acumulación de sustancia alimenticia. Debido a la característica implantación que tienen los pelos en los porcinos, sus cueros son porosos con orificios abundantes, siendo fuertes y suaves. (Roberto, 2005).

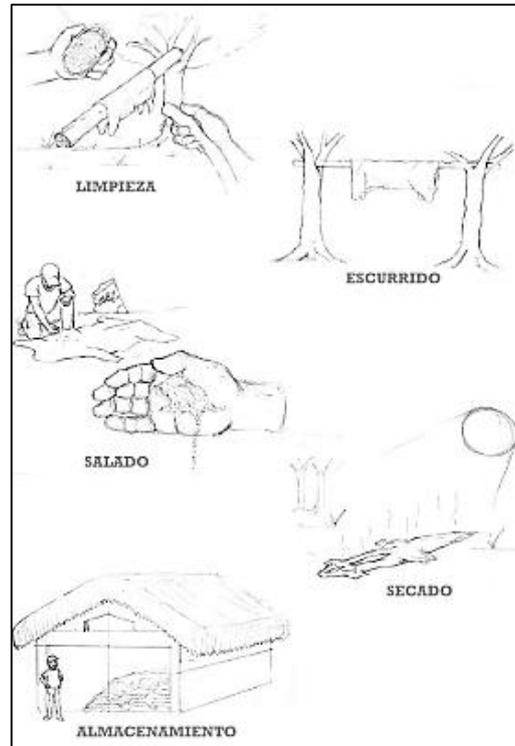
1.3.2.7. *Proceso de obtención del cuero*



**Figura 4-1:** Proceso de producción del cuero.  
**Fuente:** (C et al., 2005).

1.3.2.8. *Principios o reglas sobre la conservación de cueros y pieles*

**Conservación o curado de los cueros**



**Figura 5-1:** Técnica para conservar la piel  
**Fuente:** (Zapata, [sans date]).

El curado de los cueros sirve para mantener los cueros hasta el momento del curtido. En el mismo momento de la faena del animal comienza el proceso de descomposición debido a factores externos e internos. No siempre el olor descubre un cuero en descomposición; los cueros podridos si pueden olerse pero los cueros que ya tuvieron un salado inicial pueden no tener mal olor.

Existen tres sistemas principales de conservación que son el secado, el salado y el salmuerado.

**a) Secado**

Es el método más común de conservación de la mayor parte de pieles de reptiles, caprinos y de peletería. El secado al aire tiene la ventaja de constituir la forma más sencilla de conservación y es muy útil en zonas de clima tropical seco y zonas rurales de lugares poco desarrollados.

La velocidad de secado es importante: si es muy lento puede descomponerse el cuero; si es demasiado rápido, las superficies exteriores del pueden endurecerse y secarse mientras que las partes interiores conservan la humedad de modo que al remojar los cueros para su procesamiento presentarán un ampollado, pudiendo también aparecer orificios.

El método más sencillo de secar cueros es extenderlos sobre el suelo apoyados en listones o piedras para evitar que se ensucien o bien colgar los cueros en sogas y secarlos al sol. Sin embargo, la piel suele quedar dañada por las marcas.

La práctica más utilizada es secarla en bastidores estirando el cuero sobre un marco y dejándolo secar a la sombra o al sol. A medida que el cuero se va secando se contrae, endurece quedando siempre plano lo que permite una mejor circulación del aire y facilidad en el enfardado (Roberto, 2005).

#### **b) Salado**

Se utiliza en climas templados. El cuero fresco es llevado a bodegas donde se lo coloca en una estiba de sal. Los cueros se colocan en una pila. El tiempo de un salado correcto requiere de 21 días de estiba. Los cueros curados correctamente por salado se conservan hasta un año en lugares frescos. Para un correcto proceso de salado se requiere el uso de sal limpia y de buena calidad (Roberto, 2005).

#### **c) Salmuerado**

Existen varios sistemas de salmuerado pero el más importante es el utilizado en EE UU. Los cueros descarnados se remojan en salmuera en tachos durante 48hs. o más en un medio de salmuera saturado y se los considera curados cuando la salmuera los ha impregnado por completo. A continuación se retiran los cueros y se escurren y después se agrega una pequeña cantidad de sal para protegerlos. El salmuerado permite la conservación por 6 meses aproximadamente (Roberto, 2005).

#### *1.3.2.9. Curtiembre*

En las curtiembres o curtidorías se realiza el curtido que es el proceso que convierte las pieles de los animales en cuero. Hay que quitar el pelo, curtirlas con los agentes de curtimiento y tinturarlas,

para producir el cuero terminado. El propósito del proceso de curtido es producir un material duradero que no esté sujeto a descomposición por mecanismos físicos o biológicos (Tenorio, 2009).

A continuación, se describe los parámetros a nivel mundial de acuerdo a la cantidad de contaminantes como son DBO, DQO, sólidos totales sulfuros y cromo total en la Tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Parámetros para la curtiembre en diferentes países

País	pH	T °C	Sólidos mg/L	DBO mg O <sub>2</sub> /L	DQO mg/L	S <sup>2-</sup> mg/L	Cr tot. Mg/L
Argentina	5.5 – 10.0	45	-	50	20	1	2
Australia	6.0 – 9.0	45	60	40	-	-	0.3
Brasil	5.0 – 9.0	30	-	60	-	1	2.5
China	6.0 – 9.0	-	-	-	150	300	1.5
Egipto	6.5 – 9.0	-	-	-	500	100	1
Francia	5.5 – 8.5	30	30 - 100	40 – 200	-	2	1
Alemania	6.0 – 8.5	-	20-25	20-25	200	1	1
Holanda	6.5 – 8.5	30	80	5	-	-	0.05
EE.UU.	5.0 – 9.0	-	60	40	-	-	1
India	5.5 – 9.0	40 - 45	100	30	250	2	2
Italia	5.9 – 9.5	30 - 35	40 - 80	40	160	1	2
Japón	5.0 – 9.0	-	300	160	160	2	2
Reino Unido	5.0 – 9.0	25	30 - 50	20 – 30	-	1	1 – 2
Venezuela	6.0 – 9.0	-	60	60	350	0.5	2
Pakistán	6.0 – 9.0	40	200	80	150	1	1

Fuente: (Eliana Esparza y Nadia Gamboa, 2001).

Realizado por: López, Cristina 2019

#### 1.3.2.10. Etapas del proceso

Las operaciones de una curtiembre se dividen en cuatro:

**Ribera:** Su objetivo es preparar la piel para el curtido limpiándola y acondicionándola, además de asegurar la humedad requerida para los subsiguientes procesos. Se calcula que alrededor del 50% del consumo de agua de curtiembre es empleado en este proceso (C et al., 2005).

- **Recepción de piel:** recepción y adecuación de la piel fresca.
- **Salado o curado:** Cuando el material no puede procesarse inmediatamente, debe conservarse para evitar la putrefacción y pérdida de calidad de la materia prima.

**Remojo y/o lavado:** El remojo es la primera operación de la fabricación. Su función es la de restablecer el nivel de hidratación de la piel y empezar su limpieza y preparación para el curtido. El método de remojo depende del estado de las pieles y del método de conservación empleado. En general se realiza en dos fases: una primera de limpieza y otra segunda fase de humectación,

realizándose diferentes cambios de baño, así como la adición de auxiliares: tenso activos, productos alcalinos, enzimas de remojo. El proceso puede realizarse en distintos tipos de recipientes: tinajas, molinetas, bombos, mixers y la duración va desde horas hasta uno o dos días.

**Pelambre y encalado:** En esta etapa el pelambre tiene como función eliminar las raíces del pelo, la epidermis y el pelo, y dejar limpio el lado flor para las siguientes etapas y a la vez, producir una hidrólisis alcalina. Para ello se utiliza sulfuro ( $\text{NaHS}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ) e hidróxido cálcico. En el calero, la cal provoca una relajación de la estructura interfibrilar y de la epidermis, abriendo las fibras, y produciendo un hinchamiento de la piel, la cual se hidroliza y permite la penetración de los productos en etapas posteriores. Este proceso de pelambre es el que se utiliza normalmente para piel vacuna.

**Descarnado:** El descarnado es una operación mecánica para limpiar la piel y eliminar el tejido adiposo adherido a la parte interna de la piel, y dejarla limpia, homogénea y preparada para ir recibiendo los productos siguientes. La máquina es un cilindro con cuchillas helicoidales. Al aprisionar la piel entre unos cilindros y entrar en contacto con dichas cuchillas estas cortan y eliminan el material no deseado. Después del descarnado y una vez recortados los bordes desiguales, el cuero se pesa. Este peso se llama peso tripa y es el peso base para las operaciones siguientes.

**Dividido:** En esta etapa se regula el grosor de las pieles o cueros mediante el corte horizontal del material, dando lugar a distintas capas de cuero o piel. Se llama serraje a las capas de cuero exentas de la capa flor. Se realiza en la máquina de dividir, la cual está provista de una cinta cortante sinfín de afilado continuo. Se puede realizar cuando las pieles están en tripa, curtidas, y en crust seco. Esta operación no suele realizarse para piel ovina debido a su escaso espesor.

**Desencalado:** Después de la operación mecánica de descarnado y dividido se procede a colocar las pieles limpias del lado carne en recipientes adecuados (molinetas, bombo, mixers) para proceder a la eliminación de los restos de hidróxido cálcico y sulfuro sódico, y disminuir el pH de la piel a zonas más neutras para proceder al rendido enzimático. Se produce también un deshinchamiento de la piel. Se hace utilizando agua atemperada a  $30 - 35^\circ \text{C}$ , sulfato amónico, ácidos débiles y algún auxiliar tenso activo, blanqueantes (bisulfito). Para las pieles de ante lana (doble fase) no se realiza esta operación, puesto que no se ha hecho el deslanado y calero.

**Piquelado:** El Piquelado es una operación en la que podemos obtener piel ya limpia para su conservación, o bien ajustar el pH para poder proceder a las operaciones de curtición siguientes. Se realiza usando soluciones salinas (NaCl) (piel + baños estabilizados entre 6 – 12 ° Baumé (Be), y el empleo de ácidos fuertes y/o débiles. Se emplean además fungicidas si el Piquelado es para conservar las pieles. Este Piquelado de conservación es útil en pieles lana- res, ya que con el reposo en piquel se consigue preparar la piel para que la grasa pueda ser extraída con más facilidad. Sus efluentes llevan una elevada carga salina y ácida.

**Desengrase:** Se realiza mediante el uso de tenso activos o disolventes en medio acuoso. Se emplea agua a 35 °C, con sal o sin sal, según sea el método empleado con relación al pH de la piel. Esta operación, al eliminar materia orgánica (grasa), es un foco de contaminación de los efluentes, pues requiere elevada cantidad de productos químicos (solventes y/o tenso activos), así como una gran cantidad de aguas residuales y carga salina. Ocasiona pues una elevada carga contaminante. El desengrase puede realizarse en pieles ovinas en crust empleando disolventes orgánicos (percloroetileno) en máquinas de limpieza en seco. Es frecuente en artículos tipo ante. Para pieles vacunas esta operación puede realizarse después del calero o del Desencalado y rendido.

## **Curtido**

- **Curtición al cromo:** En el proceso de curtición al cromo se utiliza agua sala- da con una concentración de un 6 ° Be, y sulfato básico de cromo (III). Para mejorar la calidad se emplean además acomplejantes orgánicos (ftalatos y similares), y para conseguir la fijación del cromo a la piel sustancias básicas como el carbonato y bicarbonato de sodio, óxido de magnesio y similares. Se añaden además pequeñas cantidades de fungicidas a fin de evitar la aparición de hongos durante un posible período de conservación en wet-blue. Mediante este proceso se tiene la piel preparada para su conservación (wet-blue) o lista para proseguir el proceso y obtener el artículo deseado. Se produce una carga contaminante importante debido a la cantidad de sal, además de la presencia de sales de cromo (III), tanto en el baño residual de curtición como en los lavados posteriores.
  
- **Curtición vegetal:** En el proceso de curtición al vegetal se utiliza agua sin sal o con poca sal y extractos vegetales. Para mejorar la calidad se emplean además sintanes precurtientes y dispersantes, así como algún ácido débil para fijar taninos. Se añaden también pequeñas cantidades de fungicidas a fin de evitar la aparición de hongos durante

el corto reposo posterior de las pieles. Mediante este proceso se tiene la piel preparada para obtener el artículo deseado. Una parte importante de los baños de curtición al vegetal se reciclan.

**Rebajado:** Antes de rebajar se procede a un escurrido mecánico para reducir la humedad y estirar la piel. Las pieles escurridas, abiertas y planas se pasan a la máquina de rebajar que, provista de un cilindro con cuchillas helicoidales cortantes y un cilindro de apoyo metálico, iguala sus grosores al valor deseado. Su objetivo es pues proporcionar un grosor uniforme. Se puede realizar esta operación en húmedo cuando las pieles o cueros están curtidas o recurtidas, y en seco cuando las pieles están en crust, teñidas o acabadas. En el rebajado se generan virutas de piel al cromo o al vegetal.

**Neutralizado :** El neutralizado de las pieles al cromo lleva el pH de éstas a valores menos ácidos (del orden de 4.5 a 5.5 según los casos), a fin de evitar los posibles efectos perniciosos del ácido sulfúrico residual y a la vez adecuarlos para poder efectuar correctamente la recurtición, tintura y engrase posteriores, al anionizar en menor medida la piel. Se emplean productos de hidrólisis alcalina débil (formiatos, acetatos, bicarbonatos sódicos), así como neutralizantes y complejantes de base sintética que ayudan a mejorar la calidad del artículo. Se puede utilizar bicarbonato amónico. En este estado se pueden mecanizar y secar las pieles para obtener crust, si han sido ya engrasadas durante la curtición al cromo. Se genera agua con unas pocas sales y curtientes también en poca cantidad

**Post-curtido:** La curtición al cromo no da a los cueros y pieles la plenitud ni todas las características que el mercado exige, los cueros y pieles curtidas al cromo en general se recurten. Los cueros para empeine, tapicería, marroquinería y similares, ya neutralizados, recurtidos o no con sales metálicas, se someten a la recurtición en un proceso anterior a la tintura y engrase, o conjuntamente con éstas empleando un proceso compacto. Esta recurtición se realiza empleando sintanes, extractos vegetales, resinas acrílicas, resinas mixtas, resinas a base de melanina, aldehídos, proteínas e hidratos de carbono como rellenos. Con estos tratamientos intentamos obtener cueros con las características que el mercado exige para cada artículo concreto. Las aguas residuales de recurticiones efectuadas antes de la tintura y el engrase contienen algunas sales, así como los restos de los productos recurtientes no fijados en la piel. El pH es ligeramente ácido.

**Tintura o teñido:** Las pieles neutralizadas, recurtidas o no, se tratan con colorantes sintéticos (ácidos directos, de complejo metálico, básicos o reactivos) a fin de dar a la piel el color y la

solidez deseada. En ante, ante lana (doble fase) y en algunos otros casos como nubuck, las pieles proceden de estado crust esmerilado, en lugar de proceder del neutralizado o neutralizado + recurtido. Además de colorantes, se emplean productos auxiliares (tenso activo, dispersantes, amoniaco) a fin de mejorar la penetración y la igualación de la tintura. Para mejorar la fijación de colorante a la piel se recurre a una disminución del pH mediante el empleo de ácido fórmico y, en ocasiones, se emplean además productos catiónicos (resinas, tenso activos y sales metálicas). El grado de contaminación de las aguas residuales es muy variable en función del colorante no fijado, así como la carga de sales que llevan algunos productos, y del ácido fórmico residual.

**Engrase:** Las pieles neutralizadas, recurtidas o no, en el mismo baño de tintura o en baño aparte, se tratan con aceites emulsionables, a fin de lubricar las fibras y también evitar que se unan en el secado, obteniéndose así la flexibilidad y suavidad necesarias además de un cierto aumento de las resistencias físicas de la piel.

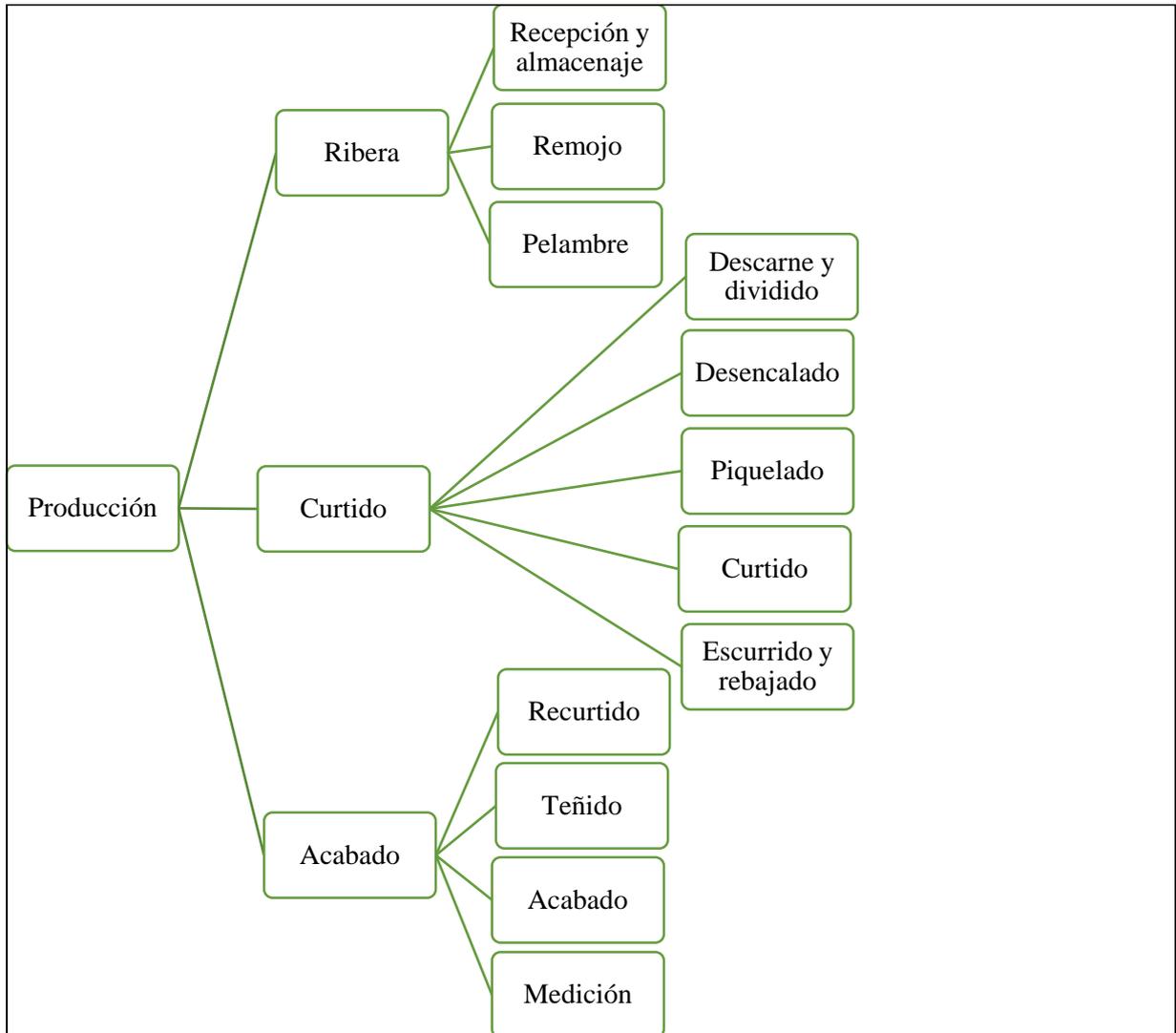
**Escurrido/repasar:** Las pieles teñidas y engrasadas o solo engrasadas, apiladas y habiendo reposado un cierto tiempo, se someten a las operaciones de escurrido y estirado en húmedo con máquinas al efecto. Se generan aguas residuales, en el escurrido, del mismo tipo que el baño final de tintura y engrase.

**Secado:** Después de estas operaciones se pasa al secado que permite obtener un cuero o piel con un contenido bajo en humedad (del orden del 12 %) que da la sensación de estar seco, sin estar reseco. Con el secado se consolidan algo más los enlaces entre los productos introducidos y la piel, lográndose una cierta fijación de ellos con la dermis y dando las características deseadas, según el artículo.

**Acabado:** Con éste nombre se define en general la aplicación de dispersiones / soluciones de productos del acabado a la piel o el cuero mediante máquinas. Se aplica un tratamiento final a la superficie para mejorar sus propiedades de uso (La et al., 2018).



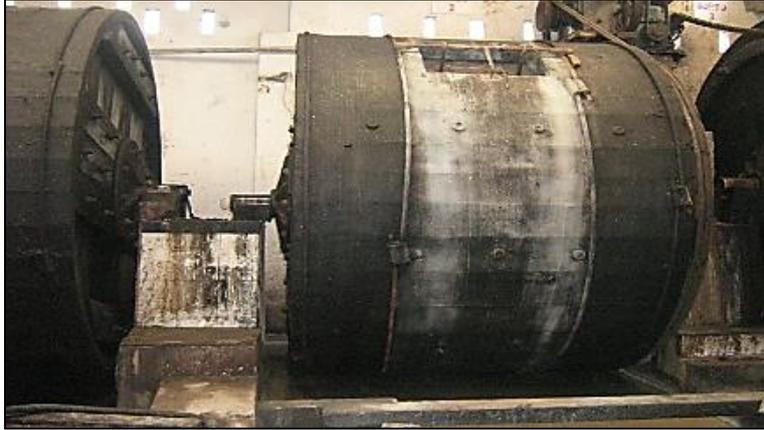
**Figura 6-1:** Flujo grama de curtiembre  
**Fuente:** (Tenorio, 2009).



**Figura 7-1:** Esquema del proceso.  
**Fuente:** (Bogotá, 2011).

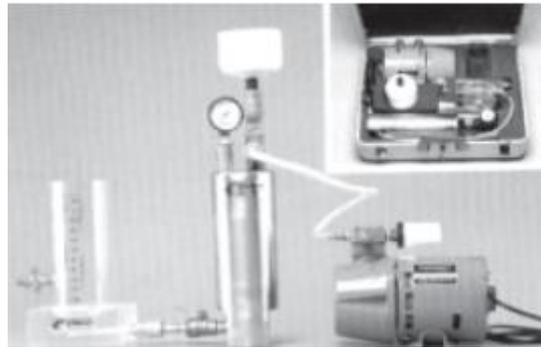
### 1.3.2.11. Pelambre

El objetivo de la operación de pelambre es, por una parte, depilar la piel eliminando el material hecho de queratina (pelo, raíces de pelo y epidermis): y, por otra, encalar la piel a fin de hincharla en forma homogénea y prepararla para el curtido, removiendo al mismo tiempo algunas albuminas, muco-polisacaridos y grasas. De esta forma el pelambre proporciona una mayor apertura a la estructura dérmica, así como más puntos de unión para las curtientes en general (C et al., 2005).



**Gráfica 1-1:** Bombos  
**Fuente:** (García, Guitierrez, 2006).

El pelambre se lleva a cabo con sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y un álcali que, en la mayoría de los casos, es cal apagada,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . El sulfuro es uno de los principales contaminantes en los efluentes líquidos, además destruye el pelo incrementando sustancialmente la carga orgánica, de ahí la importancia de reducir su consumo y consiguiente descarga (C et al., 2005).



**Figura 8-1:** Equipo de aireación  
**Fuente:** (C et al., 2005).

#### 1.3.2.12. Curtido

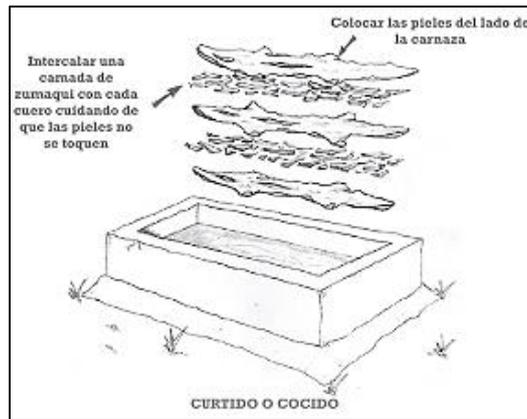
El curtido de pieles consiste en transformar la piel de un animal en cuero. (C et al., 2005). Este proceso de curtición involucra el tratamiento de la piel en tripa con un agente curtiente, que, por lo menos en parte, se combine irreversiblemente con el colágeno (Peña, 2012).



**Gráfica 2-1:** Curtido de piel  
**Fuente:** (A.Aten, R.Faraday, 1955).

### **Curtido natural de pieles**

- Preparación previa de las pieles.- Uno de los pasos más importantes en el curtido es la preparación previa de las pieles. Tenemos tres casos
  - ✓ Preparación para pieles saladas frescas.- Primero es necesario remojarla en agua fresca con el objetivo de ablandarla. Eliminar la sal y la suciedad que se pudiera haber acumulado, para esto se sumerge la piel en agua por un espacio de 48 horas máximo, tratando en lo posible de cambiar el agua frecuentemente (Zapata, [sans date]).
- Preparación para pieles saladas secas.- El remojo se prolonga por 24 horas más y si la piel todavía no ha adquirido la flexibilidad deseada se puede remojar otras 24 horas más (Zapata, [sans date]).
- Preparación para pieles frescas.- Se procede a limpiar la piel por lo menos 6 horas para garantizar que salga toda la suciedad y sangre que queda en la piel (Zapata, [sans date]).



**Figura 9-1:** Curtido  
**Fuente:** (Zapata, [sans date]).

## Tipos de curtición

El curtido de pieles con sales de cromo representa el 80% de la producción total de cueros en el mundo se describe algunos tipos de curtición que se describe a continuación:

**Tabla 2-1:** Tipos de curtición

CURTICIÓN CON PRODUCTOS INORGÁNICOS	<b>Sales de Cromo</b>	<b>Sales de Aluminio</b>
	Otros Curtientes	Sales de Hierro
	Inorgánicos	Sales de Zirconio Poli fosfatos Sílice
CURTICIÓN CON PRODUCTOS ORGÁNICOS	Curtientes Vegetales Derivados Lingosulfonicos Curtientes sintéticos	
OTROS CURTIENTES ORGÁNICOS	Aldehídos Parafinas sulfocloradas Aceites Resinas	

**Fuente:** (Peña, 2012).

**Realizado por:** López, Cristina 2019

## Curtido en alumbre

También llamado curtido blanco. Se utiliza principalmente para curtir pieles donde se quiere conservar el pelo. Se usa como solución curtiente al preparado constituido por 100 gramos de alumbre y 50 gramos de sal (cloruro de sodio) por cada litro de agua. Esta mezcla debe tener una densidad de 11° Baumé. El tiempo requerido para la conclusión del proceso es de 10 días para pieles pequeñas y hasta 40 días en pieles de mayor tamaño (Roberto, 2005).

El alumbre se puede reutilizar ajustando nuevamente la concentración a 11° Baumé mediante el agregado de alumbre y sal (Roberto, 2005).

**Tabla 3-1:** Curtido blanco o al alumbre

PROCESOS	INSUMOS	DURACIÓN	ASPECTO DEL CUERO Y FORMA DE CONTROL DEL PROCESO
Reverdecimiento	Agua limpia	48 horas	Cuero como recién carneado
Inmersión en solución de alumbre	Solución curtiente de tanino: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 litro de agua</li> <li>• 100 gramos de alumbre</li> <li>• 50 gramos de sal común</li> </ul>	10 a 40 días dependiendo del espesor del cuero	

Fuente: (Roberto, 2005).

Realizado por: López, Cristina 2019.

### Curtido al tanino

Se utiliza el tanino y otros ingredientes de origen vegetal, dependiendo de la mezcla de estos y del color original de la piel, el tono puede ser uno u otro.

**Tabla 4-1:** Curtido al tanino

PROCESOS	INSUMOS	DURACIÓN	ASPECTO DEL CUERO Y FORMA DE CONTROL DEL PROCESO
Reverdecimiento	Agua limpia	48 horas	Cuero como recién carneado
Encalado	Lechada de cal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 kg de cal apagada</li> <li>• 10 litros de agua</li> </ul>	7 a 14 días	Cuero “amondongado”, se desprenden los pelos
Enjuague	Agua limpia	12 horas	
Purgado y Piquelado	Proporción para 10 kg de cuero mojado Fermento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 kg de trigo semilla molido</li> <li>• 4 litros de agua hirviendo</li> </ul>	24 horas	Aspecto gelatinoso y resbaladizo pH: 4.5 - 5
Enjuague	Agua limpia	12 horas	
Inmersión en solución de tanino	Proporción para 1 kg de cuero mojado Solución curtiente de tanino: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 litros de agua</li> <li>• 20 gramos de tanino</li> <li>• 2 gramos de alumbre</li> <li>• 6 gramos de sal común</li> </ul>	7 a 40 días dependiendo del espesor del cuero	Se ve al cortar al cuero en la zona del cuello que ha penetrado completamente el tanino pH: 5
Enjuague	Agua limpia		
Oreo		12 horas	No chorrea más agua
Nutrido y estaqueo	Emulsión sulfonada: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 cc aceite de ricino</li> <li>• 50 cc detergente neutro</li> <li>• 1350 cc agua tibia</li> </ul>		

Fuente: (Roberto, 2005).

Realizado por: López, Cristina 2019.

## Inmersión en tanino

Se sumergen los cueros en un licor curtiente vegetal compuesto por agua, tanino alumbre y sal durante el tiempo necesario para que se impregne los cueros totalmente. Siempre debe iniciarse este proceso con la menor concentración posible de tanino (0,7° Baumé) e ir agregando tanino en forma diaria para favorecer de este modo la impregnación uniforme del cuero e todo su espesor. La concentración final varía de acuerdo al tipo de cuero siendo en el caso de la cabritilla de 1 a 1,3° Baumé y en el caso de los becerros puede llegar a 3° Baumé (Roberto, 2005).

Como el proceso de curtido propiamente dicho se lleva a cabo en un medio ácido es importante controlar el pH de la solución. Este debe mantenerse en un valor aproximado de pH 5. Para corregir las desviaciones de pH que puedan ocurrir contamos con el alumbre que es una sal ácida y el cloruro de sodio (sal común) que es una sal básica; si el pH se torna alcalino deberá agregarse una sal ácida (alumbre), en el caso contrario, si el pH se desvía hacia la acidez, se agregará una sal básica (cloruro de sodio) (Roberto, 2005).



**Gráfica 3-1:** Preparación del tanino y posterior mezcla con la solución de alumbre  
**Fuente:** (Roberto, 2005).

Para la preparación de la solución inicial, se usan 2 litros de agua por cada Kg. de cuero encalado, 20 gramos de tanino, 2 gramos de alumbre y 6 gramos de sal. Por las características químicas de los insumos utilizados se debe disolver el tanino en agua hirviendo y el alumbre y la sal en agua fría; una vez preparadas se mezclan ambas en el mismo recipiente. La mezcla obtenida tendrá una densidad medida con el aerómetro de 0.7 grados Baumé (Roberto, 2005).

Los cueros se sumergirán en la solución controlándose en forma diaria y se revuelven para que el proceso sea uniforme. Se agrega la misma cantidad de tanino todos los días hasta finalizar el proceso. Los cueros están listos una vez que el tanino ha penetrado en la totalidad de su espesor. Luego hay que enjuagar con abundante agua limpia y se ponen a orear los cueros extendidos en

una habitación cerrada sobre una soga de nylon hasta que no chorreen más agua, este es el punto de oreo necesario para el siguiente paso (Roberto, 2005).



**Gráfica 4-1:** Control del proceso de curtido: absorción de tanino  
**Fuente:** (Roberto, 2005).

### ➤ **Nutrido**

Es el agregado de un aceite sulfonado (mezclado con agua) para nutrir los cueros curtidos. Sirve para restituir las grasas eliminadas durante el proceso de curtido brindándole flexibilidad. La cantidad de aceite necesaria es de un 15% de aceite en agua pero depende mucho de la calidad del aceite utilizado. Los aceites puros se emulsionan con un detergente neutro y agua tibia; la proporción utilizada es de 100cc, de aceite de Ricino, 50cc, de detergente neutro y agua tibia hasta completar un litro y medio de solución (Roberto, 2005).

El nutrido se hace masajeando con la mezcla de aceite el cuero del lado de la flor y del descarnado hasta que la misma sea absorbida totalmente (Roberto, 2005).



**Gráfica 5-1:** Preparación de emulsión y aplicación de la misma para nutrir el cuero.  
**Fuente:** (Roberto, 2005).

### ➤ **Estaqueado**

Se realiza en bastidores acondicionados al tamaño de los cueros hasta su secado. Este se debe hacer en un lugar cerrado y con poca aireación ya que este proceso debe ser lo suficientemente lento para evitar que la piel se endurezca por fuera impidiendo la eliminación de la humedad interna (Roberto, 2005).



**Gráfica 6-1:** Estaqueado de cueros  
**Fuente:** (Roberto 2005).

### ➤ Terminación

Como parte final de la fabricación del cuero debe realizarse el acabado donde se obtendrá las características finales influyendo en forma esencial sobre el aspecto, tacto y solidez de la piel. Tiene como objetivo brindarle al cuero flexibilidad y estética (Roberto, 2005).

Se inicia el trabajo humedeciendo el cuero utilizando un paño húmedo del lado de la flor. Luego se procede mediante el uso de la espátula al estirado del mismo y la eliminación de los restos de tejido subcutáneo que persistieron durante el proceso de descarnar; se termina la superficie del descarnar con el lijado suave de la misma usando una lija de grano intermedio (grano 80 o 100). Con el fin de darle la máxima elasticidad posible, se soba el cuero y se completa la terminación dándole brillo mediante el uso de un taco de madera pulido (Roberto, 2005).

**Tabla 5-1:** Principales productos químicos utilizados en el proceso de curtición

Principales productos químicos utilizados en el proceso de curtición		
Etapas más representativas	Principales insumos químicos	
Lavado, pelambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfuro de sodio</li> <li>• Hidróxido de sodio</li> <li>• Pesticidas</li> <li>• Tenso activos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cal</li> <li>• Carbonato de sodio</li> <li>• Cloruro de sodio</li> </ul>
Curtido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desengrasantes</li> <li>• Tenso activos</li> <li>• Taninos</li> <li>• Formiato de sodio</li> <li>• Solventes</li> <li>• Cloruro de sodio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfato de cromo</li> <li>• Sulfato de amonio</li> <li>• Ácido fórmico</li> <li>• Ácido sulfúrico</li> <li>• Bisulfito de sodio</li> <li>• Productos enzimáticos (Croaron, Enzilon)</li> </ul>
Acebado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metil etil cetona</li> <li>• Metil butil cetona</li> <li>• Monoclorobencina</li> <li>• Kerosene</li> <li>• Butanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etilmercaptano</li> <li>• Etilbenceno</li> <li>• Ciclo hexano</li> <li>• Acetato isobutilico</li> <li>• Acetato de butilo</li> </ul>

**Fuente:** (Peña, 2012).

**Realizado por:** López, Cristina 2019.

### *1.3.2.13. Problemas ambientales de la curtiembre*

Desde el punto de vista ambiental (producción más limpia), la etapa de ribera y curtido son importantes por el volumen y la carga contaminante de los efluentes y la etapa de post-curtido y acabado por la cantidad de residuos sólidos y emisiones de solventes generados en las distintas operaciones para obtener el cuero acabado (C et al., 2005).

Como ya se abordó la importancia económica que tiene el procesamiento del cuero y sus derivados, así como las etapas que conlleva a la obtención de esta materia prima, no se debe dejar de lado el impacto que tiene la Industria del Cuero en el medio ambiente, por lo tanto en este acápite se va a desarrollar generalidades de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) del Cuero (Peña, 2012).

El curtido de pieles bovinas, es consecuencia de una serie de etapas productivas, en las que es necesario adicionar productos químicos que tienen consecuencias ambientales significativas, entre los que cabe resaltar, las sales de cromo y el sulfato de amonio, dado que se transforman en compuestos contaminantes de las aguas de difícil degradación y generan gases como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco que son tóxicos y fácilmente se perciben en los alrededores de este tipo de empresa (Peña, 2012).

**Tabla 7-1:** Factores de riesgo y control

Factor de riesgo	Descripción	Control
<b>Biológicos</b>	Agentes infecciosos: Los cueros crudos pueden ser portadores de agentes Infecciosos como el ántrax. También se pueden presentar infecciones en la piel de las manos por la humedad permanente durante el proceso	<b>Fuente:</b> Seleccionar pieles de animales sanos. Facilitar un buen drenaje de los pisos. <b>Medio:</b> Asegurar buena ventilación general para optimizar sanidad. Enchapar paredes y pisos para facilitar limpieza. <b>Individuo:</b> Uso de respiradores contra polvos, petos guantes y botas de caucho.
<b>Físicos</b>	Ruido: Ruido continuo producido por movimiento de bombos, engranajes, motores y mecanismos en movimiento.	<b>Fuente:</b> Sustituir engranajes de dientes rectos por engranajes helicoidales, además de mantenerlos engrasados. Aislar fuentes generadoras de ruido con material absorbente como lana de fibra de vidrio, poliuretano e icopor. <b>Medio:</b> De acuerdo a la ubicación de los bombos recubrir paredes y cielo raso con material insonorizante <b>Individuo:</b> Emplear tapones de inserción interna o protectores de copa
	Humedad: Inherente a la mayoría de procesos debido a que las pieles permanecen húmedas	<b>Medio:</b> Instalar piso impermeable y antideslizante con superficie uniforme con sistema adecuado de drenaje. Colocar plataformas metálicas o de madera para evitar contacto directo con los pisos húmedos. <b>Trabajador:</b> Dotar de botas, delantales y guantes impermeables.
<b>Químicos</b>	Sustancias químicas: Polvos o material particulado, gases, vapores, rocíos o líquidos de sustancias tóxicas, irritantes, cáusticas, ácidos y colorantes.	<b>Fuente:</b> Sustitución de productos muy riesgosos por otros menos nocivos si las exigencias del producto lo permiten. Instalar sistemas de extracción mecánica localizada con filtro para una posterior descarga del aire limpio. <b>Medio:</b> Instalar ventilación general mecánica forzada para contaminantes de baja peligrosidad. <b>Individuo:</b> Dotar de elementos de protección personal de acuerdo a los contaminantes específicos. Capacitación y entrenamiento sobre el uso adecuado de los elementos de protección personal. Instalar lavajos y duchas de emergencia para uso al final de la jornada.

Fuente: (Bogota, 2011).

Realizado por: López, Cristina 2019.

### ➤ Cromo (VI)

Sus propiedades mecánicas, incluyendo su dureza y la resistencia a la tensión, determinan la capacidad de utilización. El cromo tiene una capacidad relativa baja de forjado, enrollamiento y propiedades de manejo. Sin embargo, cuando se encuentra absolutamente libre de oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno es muy dúctil y puede ser forjado y manejado.

### ¿Qué hay que tener en cuenta en la química de Cr (VI)?

El Cr (VI) es inestable a pH ácido. A estos valores de pH es un fuerte oxidante que tiende termodinámicamente a reducirse. Por el contrario, a pH básicos, el Cr (VI) es mucho más estable. La siguiente tabla muestra los valores de los potenciales normales de reducción del electrodo Cr (VI) / Cr (III) a pH ácido y a pH básico:

**Tabla 6-1:** Semireacción

	Semireacción	E°
pH ácido	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O}$	1'33 V
pH básico	$\text{CrO}_4^{2-} + 4 \text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5 \text{OH}^-$	-0'13 V

Fuente: (A.Marsal, 2006).

El Cr (III) es difícilmente oxidable en soluciones ácidas, pero cuanto menos ácido sea el valor pH, más fácil va a ser la oxidación a cromo hexavalente (A.Marsal, 2006).

Los cromatos sódico y potásico son sales muy solubles. En consecuencia, las operaciones de lavado pueden reducir su concentración en el cuero (A.Marsal, 2006).

#### 1.3.2.14. Carga contaminante generada por las curtiembres

Suciedad adherida a las pieles por su cara exterior: Compuesta fundamentalmente por tierra y excremento adherido al pelo (García, Guitierrez, 2006).

Componentes constitutivos del cuero propiamente tal y que se eliminan durante la ribera:

- **Pelo:** Es sin duda alguna el componente de la piel (cuero bruto) que nunca puede faltar con mucho de queratina. En el proceso de pelambre se comienza la destrucción de dicho componente gracias a la mezcla de varias cantidades de sulfuro y cal, lo que da un medio altamente alcalino. Estas sustancias logran un drástico aumento de la DBO5 en el efluente así como también, un importante aumento de los sólidos suspendidos.
- **Grasas:** Se encuentran de manera abundante en el tejido adiposo, ya que viene adheridas al cuero. En el proceso de pelambre se saponifican parcialmente en el medio alcalino, dando origen a una parte del valor del extracto etéreo del efluente total de curtiembre.

- **Sulfuro:** El sulfuro nunca puede faltar en el proceso ya que es esencial para obtener buenos resultados en la destrucción del pelo o pelambre. Este producto posee altos niveles tóxico en medio acuoso, principalmente porque debido a su carácter reductor provoca una drástica disminución del oxígeno disuelto en los cursos de agua y además cuando las soluciones acuosas que lo contienen bajan su PH del valor 10, se desprende ácido sulfhídrico gaseoso que al ser inhalado en determinadas concentraciones puede llegar a ser mortal. La existencia del sulfuro en el proceso explica que el pelambre es responsable del 76% de la toxicidad total del efluente.
- **Cal:** La cal apagada en polvo es un producto técnico de alta riqueza en hidróxido cálcico, alrededor del 90%. se usa en la ribera debido, principalmente, a su bajo costo y a su poca causticidad como álcali. Es muy poco soluble (1,29 gr/l a 20°C) y los baños se preparan siempre con un exceso de cal (10 gr/l y superiores) que queda en suspensión, contribuyendo a elevar los valores de sólidos suspendidos en los efluentes. Es el único material usado por la curtiembre que da sólidos en suspensión, en circunstancias que la mayoría de las materias en suspensión proceden de las pieles.
- **Alcalinidad:** la alcalinidad es propia del baño de pelambre es un elemento de contaminación, ya que por su alto valor de PH debe ser neutralizada antes de su descarga.
- **Salinidad:** La salinidad es proveniente de la conservación de los cueros que pueden llegar aproximadamente al 60% de la salinidad, que se produce en el proceso de remojo principalmente y otros como la ribera, valores menores.
- **Nitrógeno amoniacal:** Es la principal fuente el sulfato de amonio usado durante el desencalado, con un valor típico para efluente unificado de curtiembre es 70 mg/lit. También podemos encontrarlo en las fermentaciones anaeróbicas de proteínas. Además, en los pelambres se forma amoniaco debido a la desamidación de la glutamina y la asparagina presente en la estructura del colágeno.
- **Tenso activos:** Son productos usados esencialmente como humectantes y como agentes de limpieza de los cueros. Los más usados son los alquilfenoles etoxilados. Estos productos dan altos valores de DQO y de toxicidad. Se ha determinado que 1gr/lit de alquilfenol etoxilado tiene una DQO de 2.300 mg/lit de O<sub>2</sub> (García og Guitierrez 2006).

#### 1.3.2.15. *Tratamientos químicos*

- Oxidación directa o química mica: Utilizan un oxidante primario o directo, normalmente el oxígeno molecular, como agente oxidante.

- Oxidación avanzada: Utilizan especies radicalarias ( $\text{HO}_2^\cdot$ ,  $\text{HO}^\cdot$ ) como agentes oxidantes, de tal forma que se diseña el proceso para promover su formación. Esta operación es preferible a la primera, dado que la velocidad de esta reacción es más elevada que la de la oxidación directa con oxígeno o con ozono (García, 2010).

#### **1.4. Beneficiarios directos o indirectos**

##### ***1.4.1. Beneficiarios directos***

- Trabajadores
- Empresa

##### ***1.4.2. Beneficiarios indirectos***

- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tungurahua
- Familias que viven alrededor
- Medio Ambiente

## CAPITULO 2

### 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 2.1. Objetivo general

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “CRISTO DEL CONSUELO” de la ciudad de Ambato.

#### 2.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar la caracterización físico-química de los efluentes provenientes de la operación de pelambre y curtido del sistema de tratamiento de aguas residuales según la norma ambiental vigente.
- ✓ Realizar pruebas de tratabilidad a los parámetros fuera de norma.
- ✓ Determinar las variables del proceso para el sistema de tratamiento de aguas residuales
- ✓ Efectuar cálculos de ingeniería para el respectivo rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales
- ✓ Validar el rediseño a través de la caracterización del agua tratada según la norma ambiental vigente “Acuerdo Ministerial N: 097, Anexo 1: Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público”

## CAPITULO 3

### 3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1. Localización del proyecto

El presente trabajo técnico se desarrollara en la Curtiembre Cristo del Consuelo que está ubicada en la provincia de Tungurahua en la Ciudad de Ambato en la Avda. Pitágoras.



**Figura 1-3:** Localización de la Planta de Tratamiento de aguas residuales curtiembre “Cristo del Consuelo”  
**Fuente:** Google maps, 2019.

#### 3.2. Ingeniería del proyecto

El presente proyecto se dividirá en cuatro etapas las cuales son: toma de muestras tanto para el agua de pelambre y curtido, caracterización del agua residual generada en la curtiduría “Cristo del Consuelo”, prueba de jarras para realizar el tratamiento de la misma, cálculos de ingeniería, el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales y validación del proceso de tratamiento, esto se describirá a continuación:

### **3.2.1. Tipo de estudio**

El presente estudio al tratarse de un PROYECTO TÉCNICO se empleó varias estrategias de adición de datos, el muestreo y su posterior estudio y/o análisis, implicando así la utilización de técnicas experimentales que permitan determinar los factores operacionales tales como el método volumétrico y gravimétrico.

### **3.2.2. Métodos**

Para realizar el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Cristo del Consuelo” se empleó los siguientes métodos:

- **Deductivo:** es un procedimiento que nos da la iniciativa de ir de los conocimientos generales a lo específico, es decir a conocimientos más actuales, generando posibles soluciones al problema presente en la planta de aguas residuales y por ende al agua contaminada que destruye al ambiente.
- **Inductivo:** es un procedimiento que se basa en un estudio que va de lo particular a lo general, este método nos brinda la capacidad de establecer el estado de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Experimental:** es un procedimiento práctico ya que es aplicado en el laboratorio mediante el uso de equipos, materiales e instrumentos que ayuden a eliminar los contaminantes presentes en el agua, por lo que se encuentra relacionada directamente con los parámetros de caracterización del agua residual.

### **3.2.3. Técnicas**

Existen numerosas técnicas de separación que se pueden utilizar para retener partículas en suspensión, e incluso sustancias disueltas, de un fluido. Las técnicas se pueden agrupar en función de la magnitud en la que se basan para llevar a cabo la separación.

Las técnicas usadas para el siguiente proyecto son:

- NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.
- NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

#### 3.2.4. *Toma y monitoreo de muestras*

##### ✓ **Técnica in situ**

Caudal: La medición del caudal para la planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría “Cristo del Consuelo” se llevó a cabo por el método volumétrico, se debe tener en cuenta que este fue medido solo del efluente correspondiente a la etapa de pelambre y curtido. Esto se hará de acuerdo a la norma NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:2013, se realizara durante el periodo de toma de muestras a la planta.

##### ✓ **Análisis de Laboratorio**

Los análisis de las aguas residuales fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Las técnicas aplicadas para este propósito se basarán en el manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” y mediante el Manual de Análisis de Agua, método HACH.

### 3.2.5. Análisis de Laboratorio

**Tabla 1-3:** Procedimiento utilizado para la demanda bioquímica de oxígeno en el agua residual según norma NTE INEN 1202

<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
Frasco de DBO (winkler) de 250 cm <sup>3</sup> a 300 cm <sup>3</sup> de capacidad. Incubadora de aire con control termostático a 20 °C ± 1°C. 4.2.3	Agua destilada. Solución amortiguadora de fosfato. Solución de sulfato de magnesio. Solución de cloruro de calcio. Solución de cloruro férrico. Solución de ácido sulfúrico 1 N. Solución de hidróxido de sodio. Solución de sulfito de sodio 0,025 N.
<b>PROCEDIMIENTO</b>	
Preparación del agua de dilución. El agua destilada estará a 20 °C ± 1°C. 4.4.1.1 Colocar el volumen deseado de agua destilada en una botella conveniente y añadir 1 cm <sup>3</sup> de cada solución: a) amortiguadora de fosfato, b) sulfato de magnesio, e) cloruro de calcio y d) cloruro férrico por cada litro de agua. Si el agua de dilución es guardada en el incubador, añadir la solución amortiguadora de fosfato inmediatamente antes de su uso. NOTA 1. Pureza de los reactivos. Todos los reactivos utilizados en esta norma deben ser productos químicos con grado analítico. (Continúa) NTE INEN 1202 2013-06 -4- 2013-1265 La prueba de la DBO es un procedimiento de ensayo “in vivo” y, en consecuencia, los resultados que se obtengan serán afectados por la presencia de sustancias tóxicas o por el empleo de un inóculo impropio.	
<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>	
$DBO, \frac{mg}{l} = \frac{D_1 - D_2}{P}$ Dónde: D <sub>1</sub> =Muestra diluida inmediatamente después de la preparación mg/l. D <sub>2</sub> =Muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°, mg/l. P =Alícuota de la muestra usada en el análisis	

**Fuente:** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

**Realizado por:** López, Cristina 2019.

**Tabla 2-3:** Procedimiento para la demanda química de oxígeno según la Norma NTE INEN 1203

MATERIALES	REACTIVOS
Equipo para reflujo. Plancha de calentamiento.	Solución valorada de bicromato de potasio 0,25 N. Reactivo de ácido sulfúrico. Ácido sulfúrico concentrado. Solución titulante de sulfato ferroso y amonio, en cristales, 0,25N Titulación. Solución indicadora de ferroín. Sulfato de mercurio, HgSO4. Ácido sulfámico. Solución patrón de ftalato ácido de potasio.
<b>PROCEDIMIENTO</b>	
Para muestras con valores de DQO superiores a 50 mg/L. Colocar en un matraz Erlenmeyer para reflujo, de 500 cm <sup>3</sup> , algunos pedazos de piedra pómez o perlas de vidrio; a continuación 50 cm <sup>3</sup> de muestra o una alícuota diluida a 50 cm <sup>3</sup> , 1 g de HgSO <sub>4</sub> (ver nota 2) y, lentamente y con agitación añadir 5 cm <sup>3</sup> del reactivo de ácido sulfúrico. Enfriar mientras se mezcla para evitar posibles pérdidas de sustancias volátiles en la muestra. Agregar 25 cm <sup>3</sup> de K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 0,25 N y mezclar nuevamente. Conectar el matraz de reflujo al condensador, abrir el agua de enfriamiento y añadir lentamente 70 cm <sup>3</sup> de reactivo de ácido sulfúrico a través de la abertura del condensador. Calentar la mezcla y mantener el reflujo por 2 h. Enfriar y luego lavar el refrigerante con agua destilada. Diluir la mezcla aproximadamente al doble con agua destilada, enfriar a temperatura ambiente. Titular el exceso de bicromato de potasio con la solución de sulfato ferroso y amonio usando 2 a 3 gotas de indicador ferroín. Tomar como punto final de la titulación el cambio de color azul verdoso o café - rojizo, aunque después de algunos minutos puede reaparecer el color azul - verdoso. Llevar a reflujo un blanco con agua destilada de igual volumen que la muestra, junto con la misma cantidad de los reactivos, teniendo la precaución que la ebullición empiece al mismo tiempo que en la muestra.	
<b>CALCULOS Y RESULTADOS</b>	
$DQO \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(a - b) * N * 8000}{cm^3 \text{ muestra}}$ <p>Dónde: DQO = demanda química de oxígeno, mg/L. a = cm<sup>3</sup> Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para el blanco. b = cm<sup>3</sup> Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para el muestra. N = normalidad del Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></p>	

Fuente: (NTE INEN 1203:2013, 2013).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 3-3:** Procedimiento utilizado para la Determinación de sulfuros

MATERIALES	REACTIVOS
Frascos de vidrio de 250 o 350 mL con tapa para la toma de muestras. Micro bureta de 5.00 mL Erlenmeyer de 100,250 y 500mL. Embudos de vidrio grandes con vástago grueso. papel filtro Pipetas aforadas clase A de: 2,3,5,10,20,25,50 y 100 mL Vasos de precipitados de 100,200 y 500 mL Pipeteador automático Agitadores de vidrio Balones de 200,500 y 1000 mL clase A.	Ácido clorhídrico 6N. Suspensión indicadora de almidón Solución estándar de tiosulfato de sodio 0.025N Solución estándar de yodo 0.0250N Solución de acetato de cinc 2N Hidróxido de Sodio 6N Solución de biyodato estándar
<b>PROCEDIMIENTO</b>	
Tome las muestras evitando su aireación, analícelas inmediatamente después del muestreo o presérvelas para su posterior análisis. Para la determinación de sulfuro disuelto de una muestra de 250 mL, agregue previamente al recipiente ocho gotas de solución de acetato de zinc 2N y 4 gotas de Hidróxido de Sodio 6N. Si la concentración de sulfuro esperada es superior a 64 mg/L y el volumen de muestra es mayor a 250 mL, usar mayor volumen de solución de acetato de zinc. El pH final debe ser como mínimo de 9.0 unidades, si el pH no alcanza este valor agregue unas gotas más de hidróxido de sodio, llene las botellas completamente y tápelas sin dejar burbujas de aire, agite vigorosamente para formar el precipitado de sulfuro de zinc, deje decantar para posterior análisis en el laboratorio.	

Fuente: (Jose Afanador, 2012).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 4-3:** Procedimiento utilizado para determinar la turbiedad

MATERIALES	REACTIVOS
Frasco de almacenamiento de estándar de color Frasco	Agua destilada
PROCEDIMIENTO	
Se enciende el turbidímetro y luego se toma el frasco de almacenamientos estándar de color ámbar para calibrar el equipo, por consiguiente se llena el frasco lavador y se pone la muestra de agua a tratar se introduce en el equipo y se toma nota de la medición, luego se saca la muestra y se lava con agua destilada el frasco utilizado	

Fuente: (Tania Carpio, 2007).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 5-3:** Procedimiento utilizado para Sólidos suspendidos

MATERIALES	PROCEDIMIENTO
Placas de evaporación. Estufa. Mufla. Balanza analítica. Embudo de filtración para discos de fibra de vidrio. Bomba de vacío. Cápsulas de porcelana de 100 ml. Crisol de Gooch o disco de fibra de vidrio tipo Gelman A/E o equivalente, con diámetro de 4 cm. Probetas graduadas de 100 ml.	Inserte el disco con la cara rugosa hacia arriba en el embudo de filtración, conecte el vacío y lave el disco con 20 ml de agua destilada, continúe la succión hasta eliminar totalmente los residuos de agua. Seque el disco en la estufa a 103°C durante una hora. Si va a medir sólidos volátiles calcine en la mufla a 550°C±50°C durante 20 minutos, enfríe en el desecador y pese. Mida' 100 ml de muestra o un volumen que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo. Inserte el filtro en el embudo de filtración, conecte el vacío e inicie la succión. Filtre la muestra previamente agitada a través del filtro de fibra de vidrio. Lave con 3 porciones de 10 ml de agua destilada, continúe la succión por cerca de 3 minutos. Seque el filtro en la estufa a 103°C-105°C durante una hora, enfríe en el desecador y pese. Repita el ciclo de secado, enfriamiento y pesada hasta peso constante.
CÁLCULOS	
<b>solidos suspendidos totales</b> $\left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) = \frac{(\text{B} - \text{A}) * 1000}{\text{ml de muestra}}$	
Dónde: A=Peso del filtro en mg B=Peso del filtro más el residuo seco en mg	

Fuente:(García, Xirau, 2013).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 6-3:** Procedimiento utilizado para determinar la Conductividad

MATERIALES	REACTIVOS
Conductímetro	Agua desionizada Solución patrón de 10.000 micromhos/cm Solución patrón de 1.000 micromhos/cm Solución patrón de 100 micromhos/cm
PROCEDIMIENTO	
Coloque la muestra en un vaso de 50 ml y sumerja el Conductímetro en la muestra, de forma que el Conductímetro toque la muestra y posteriormente se espera hasta que lo lea, se anota el resultado obtenido	

Fuente:(García, Xirau, 2013).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 7-3:** Procedimiento utilizado para Sólidos totales

<b>MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>
Placas de evaporación. Estufa. Mufla. Balanza analítica. Embudo de filtración para discos de fibra de vidrio. Bomba de vacío. Cápsulas de porcelana de 100 ml. Crisol de Gooch o disco de fibra de vidrio tipo Gelman A/E o equivalente, con diámetro de 4 cm. Probetas graduadas de 100 ml.	Caliente la cápsula vacía en la mufla a 550 °C durante 1 hora, enfríe y pese. Transfiera 100 ml de la muestra o el volumen adecuado a la cápsula pesada (el volumen de muestra está en relación con la cantidad de sólidos que contiene la muestra, elija un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg), y evapore en una placa caliente, después lleve la cápsula con la muestra evaporada a una estufa a 103-105°C durante 1 hora, enfríe la cápsula en el desecador y pese, repita la operación hasta peso constante.
<b>CALCULOS</b>	
$\text{sólidos totales } \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{(\text{B} - \text{A}) * 1000}{\text{ml de muestra}}$	
Dónde: A=Peso del filtro en mg B=Peso del filtro más el residuo seco en mg	

Fuente:(García, Xirau, 2013).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 8-3:** Procedimiento para Determinación de potencial de hidrogeno

<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>
Potenciómetro Pipeta Vaso de precipitación	Solución reguladora de pH 4 Solución reguladora de pH 7 Solución reguladora de pH 10
<b>PROCEDIMIENTO</b>	
Calibrar el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10 según la acidez del producto. Tomar una porción de la muestra ya preparada, mezclarla bien por medio de un agitador y ajustar su temperatura a 20°C ± 0.5°C. Sumergir el (los) electrodo (s) en la muestra de manera que los cubra perfectamente. Hacer la medición del pH. Sacar el (los) electrodo (s) y lavarlos (s) con agua.	

Fuente:(Laboratorio Nacional de Salubridad. et al., 1978).

Realizado por: López, Cristina 2019.

**Tabla 9-3:** Procedimiento para determinar Cromo hexavalente

MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-VIS</li> <li>• Vasos de precipitados</li> <li>• Agitadores de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución patrón de Cromo hexavalente:</li> <li>• Solución de Difenilcarbazida al 0.5% (m/v)</li> <li>• Solución de Ácido Sulfúrico 1:1 o de 50</li> </ul>
PROCEDIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación de la curva de calibración: Pipetear volúmenes crecientes de la solución patrón de cromo, utilizando pipetas mecánicas previamente calibradas o de forma alternativa pipetas aforadas de vidrio, en volumétricos completar con agua desionizada hasta el aforo, para obtener al menos seis concentraciones comprendidas en el intervalo de 0.000 a 0.200 mg/L. Transferir las soluciones patrón a vasos de precipitado de 100 mL. A cada una adicionar 0.5 mL de ácido sulfúrico 1:1 y agitar con varilla de vidrio. El pH debe ser alrededor de 2. Añadir 1.0 mL de solución de Difenilcarbazida, agitar y dejar reposar 5 a 10 minutos para desarrollar color. Leer de 5 a 10 minutos en espectrofotómetro a 540 nm con celdas de 5 cm (50 mm) de paso óptico.</li> <li>• Verificación de la curva de calibración: Cada vez que se analicen muestras, no es necesario construir una nueva curva de calibración, sino verificar la validez de la existente. En este caso, se prepara un patrón de concentración 0.020 mg/L y se lee como si fuera muestra. Si el resultado es coincidente 10%, se considera que la curva es válida y se procede a preparar y leer las muestras [15]. En caso negativo, repetir el patrón. Si el problema persiste, verificar los reactivos, en particular, la solución madre de cromo y si es necesario prepararlos y construir una nueva curva de calibración.</li> <li>• Determinación de cromo hexavalente en muestras: Transferir 50 mL de muestra (previamente filtrada si la muestra lo amerita) a un vaso de precipitados de 100 mL, adicionarle 0.5 mL de ácido sulfúrico 1:1. Agitar para mezclar bien. Añadir 1 mL de solución de Difenilcarbazida, agitar y dejar reposar 5 a 10 minutos para desarrollar color. Preparar y analizar un blanco de reactivos con agua. Leer de 5 a 10 minutos en espectrofotómetro a 540 nm con celdas de 5 cm de paso óptico respecto a la curva de calibración de cromo hexavalente. Si la absorbancia de la muestra resultase mayor que la del mayor patrón, es necesario repetir el proceso mediante diluciones sucesivas de la muestra y posterior lectura en el equipo. Para esto, debe realizarse como mínimo dos diluciones, se calculó el coeficiente de variación y si éste no supera 10 %, se informó el valor promedio; en estos casos, es necesario multiplicar previamente por el factor de dilución.</li> </ul>	
CALCULOS	
<p style="text-align: center;"><b><math>Ac = Ar - Ab</math></b></p> <p>Dónde:            Ab = Absorbancia de la muestra sin los reactivos            Ar = Absorbancia de la muestra con los reactivos            Ac = Absorbancia de la muestra (corregida)</p>	

**Fuente:** (Alberto Severiche Sierra, González García, 2013).

**Realizado por:** López, Cristina 2019

### 3.2.5.1. Diagnóstico de la planta

Mediante la toma de muestra se pudo determinar en qué condiciones se encuentra la planta de tratamiento y proceder a dar el tratamiento adecuado dependiendo del tipo de agua residual.

### 3.2.5.2. *Calculo de la eficiencia del agua de Pelambre*

En la siguiente tabla se determinó la eficiencia antes de realizar el tratamiento como se indica en el anexo H.

**Tabla 10-3:** Calculo eficiencia del agua de Pelambre

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Evaluación de la Planta de tratamiento existente	% de Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5800	4350	25
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20 700	15 050	27.5
Sulfuro	mg/L	1024	988	3.52
Sulfato	mg/L	1750	1412	19.31

Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.2.5.3. *Calculo de la eficiencia del agua de Curtido*

En la siguiente tabla se determinó la eficiencia antes de realizar el tratamiento como se indica en el anexo O.

**Tabla 11-3:** Calculo eficiencia del agua de Curtido

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Evaluación de la Planta de tratamiento existente	% de Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	17 400	15 050	13.51
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	32 300	29 225	9.52
Cromo hexavalente	mg/L	0.045	0.039	13.3
Cromo Total	mg/L	103.47	79.81	22.87

Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.2.5.4. *Caracterización del agua residual de la planta*

La caracterización de las muestras se realizará en el Laboratorio de Calidad de Agua de la facultad de Ciencias, ESPOCH, los mismos que serán comparados con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público mencionados en la tabla 8 del Anexo I del Acuerdo Ministerial 097 para apreciar su calidad actual y tratabilidad, como se muestra en la Tabla 12-3 y 13-3, el anexo H para pelambre y el anexo O para curtido.

**Tabla 12-3:** Caracterización inicial del agua residual de “Pelambre”

PARÁMETROS	MUESTRA INICIAL CARACTERIZADA	Limite TULSMA /Tabla 9	UNIDAD
pH	12.48	6 – 9	-
Conductividad	16.56	-	μS/cm
Turbiedad	1700	-	NTU
DQO	20 700	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	5800	250	mg/L
Solidos sedimentables	5	20	mL/L
Solidos totales	12.16	1600	g/L
Sulfuros	1024	1	mg/L
Sulfatos	1750	400	mg/L

Fuente: Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019

**Tabla 13-3:** Caracterización inicial del agua residual de “Curtido”

Determinación	MUESTRA INICIAL CARACTERIZADA	Limite TULSMA /Tabla 9	UNIDAD
pH	4.53	6 – 9	-
Conductividad	42.3	-	μS/cm
Turbiedad	10.06	-	NTU
DQO	32 300	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	17 400	250	mg/L
Solidos sedimentables	2	20	mL/L
Solidos totales	17.2	1600	g/L
Cromo hexavalente	0.045	0.5	mg/L
Cromo Total	103.47	-	mg/L

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)

Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019

### 3.2.5.5. Índice de biodegradabilidad

La determinación del índice de biodegradabilidad nos da una idea del tipo de tratamiento a realizar dependiendo del agua residual que deseamos tratar, este índice es la relación de la DBO y DQO, al obtener el valor se determina el tratamiento físico-químico, biológico o una combinación de ambos para reducir los contaminantes.

Donde:

>0.4: Muy biodegradable se realiza un tratamiento biológico

0.2-0.4: Biodegradable se realiza un tratamiento combinado

<0.2: Poco biodegradable se realiza un tratamiento físico químico.

### **Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua residual de Pelambre**

$$I.B = \frac{DBO}{DQO}$$

*Ecuación 1*

$$I.B = \frac{5800}{20\ 700}$$

$$I.B = 0.28$$

### **Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua residual de Curtido**

$$I.B = \frac{DBO}{DQO}$$

$$I.B = \frac{17\ 400}{32\ 300}$$

$$I.B = 0.54$$

#### **3.2.5.6. Elección del tipo de tratamiento**

Con los resultados obtenidos del índice de biodegradabilidad, con valores de 0.28 para el agua de Pelambre y 0.54 para el agua de Curtido, se determina que tratamiento es el más adecuado en este caso el tratamiento físico químico para el agua de pelambre y el tratamiento biológico para el agua de curtido ya que se originan lodos que posteriormente se pueden recuperar.

#### **3.2.6. Pruebas de tratabilidad**

##### **✓ Agua de Pelambre**

Para realizar las pruebas se realizó un muestreo en la planta de producción para posteriormente ser trasladadas hacia el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH.

Para iniciar se añade al agua residual sulfato de manganeso con la finalidad de disminuir los sulfuros, luego se inició el proceso de aireación mediante el uso de una bomba de aire, por un periodo mínimo de 6 horas.

##### **✓ Agua de Curtido**

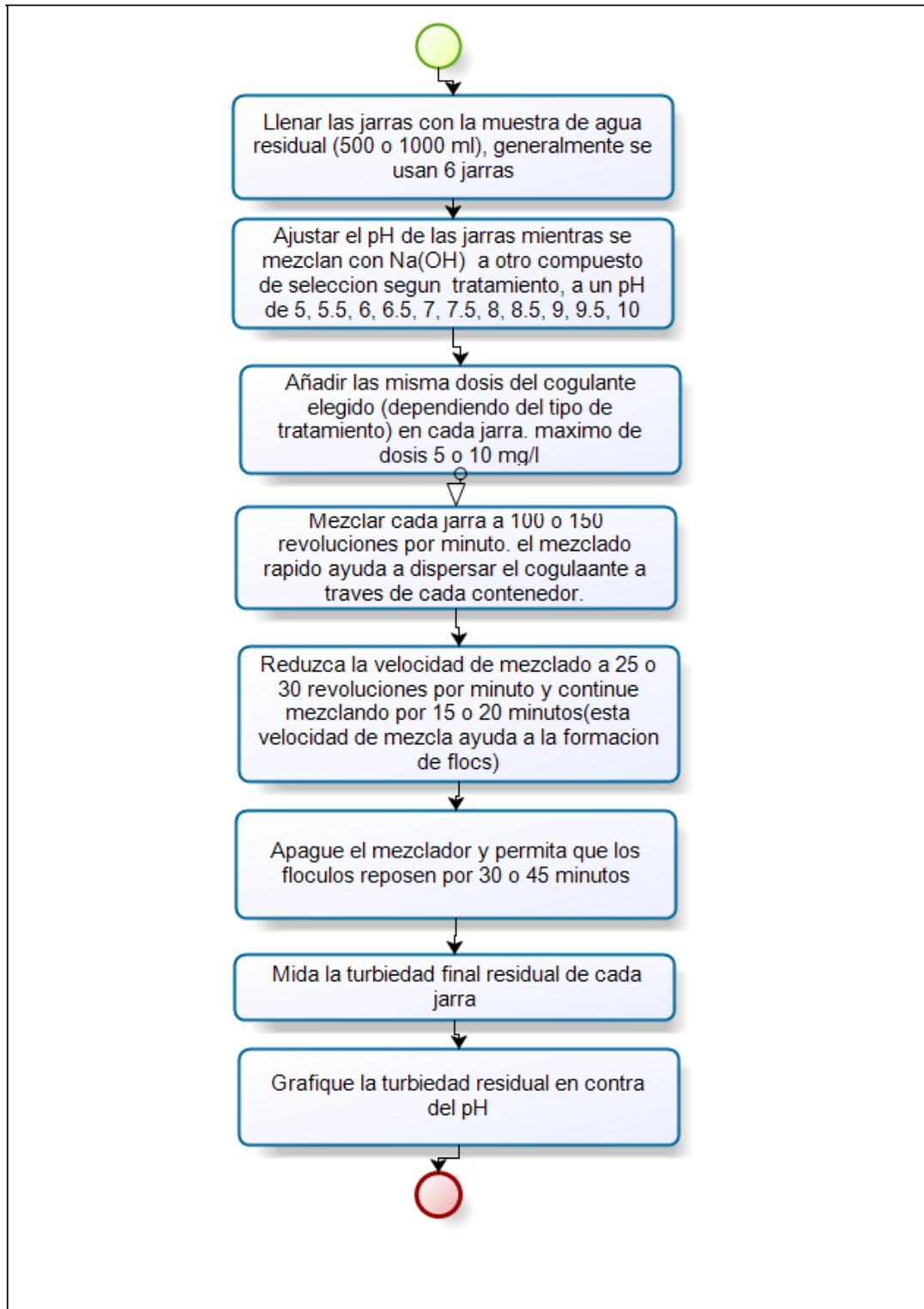
Para realizar las pruebas se realizó un muestreo en la planta de producción para posteriormente ser trasladadas hacia el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH.

Para este proceso primero se añade cal para elevar el pH, luego se lleva a una prueba de jarras y se añade el coagulante a una velocidad de 100 rpm y un floculante a una velocidad de 20 rpm, y se deja reposar 3 horas.

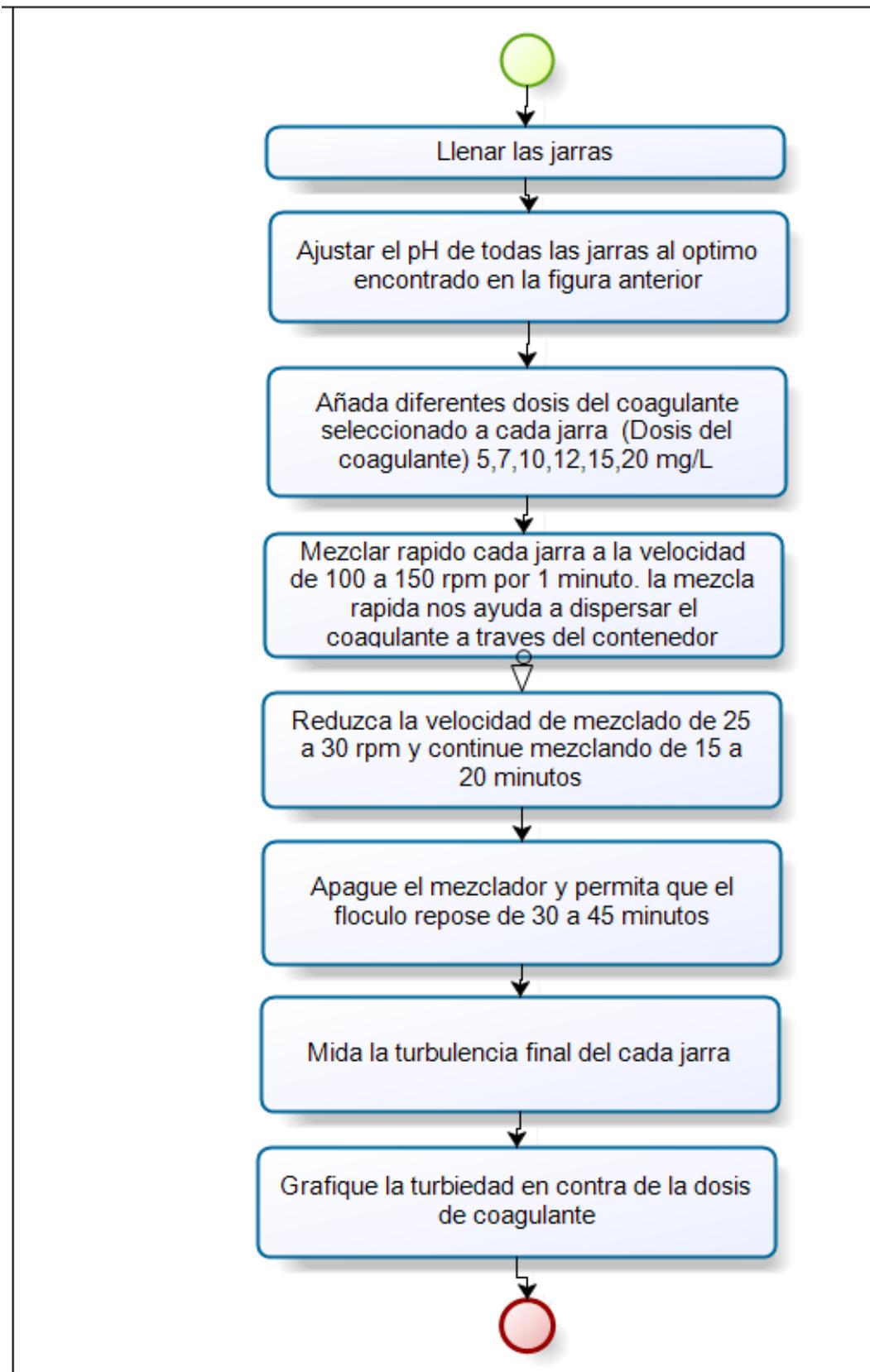
#### 3.2.6.1. Test de jarras

Se realizará la tratabilidad de las aguas residuales de pelambre y curtido haciendo uso de la prueba de jarras, la cual se entiende como un método apropiado para simular un proceso de tratamiento de agua a gran escala, dando una idea razonable de la forma en que un producto químico de tratamiento se comportará y operará con un tipo particular de agua cruda.

Se realizará una serie de pruebas para comparar los efectos de diferentes cantidades de agentes de floculación a diferentes valores de pH para determinar el tamaño correcto del floc y poder llegar a la dosis óptima de los diferentes químicos para el tratamiento.



**Figura 2-3:** Prueba de tratabilidad para determinar el pH óptimo para el Tratamiento de agua residual  
**Fuente:**(Consultoría de Aguas, 2009).



**Figura 3-3:** Prueba de tratibilidad para determinar la concentración óptima de coagulante para el Tratamiento de agua residual  
**Fuente:** (Consultoría de Aguas, 2009).

### 3.2.6.2. Elección del coagulante

A continuación se muestra las pruebas realizadas en el laboratorio a una concentración de 250 ppm cada uno y con un pH de 9, en un volumen de 1 litro de agua residual, como se muestra a continuación en la Tabla 14-3 en el agua de pelambre y la Tabla 15-3 en el agua de curtido.

**Tabla 14-3:** Elección del coagulante del agua residual de “Pelambre”

# Muestra	Coagulante	Ppm	1 hora de reposo		2 horas de reposo		3 horas de reposo		Flóculos
			pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	PAC	250	8.7	676	8.4	656	8.5	456	(+)
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	250	8.4	448	8.1	428	8.2	228	(+++)
3	FeCl <sub>3</sub>	250	8.5	576	8.2	556	8.3	356	(++)

Realizado por: López, Cristina, 2019

**Tabla 15-3:** Elección del coagulante del agua residual de “Curtido”

# Muestra	Coagulante	Ppm	1 hora de reposo		2 horas de reposo		3 horas de reposo		Flóculos
			pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	PAC	250	8.8	386	8.7	360	8.6	260	(+++)
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	250	8.3	589	8.2	563	8.3	573	(+)
3	FeCl <sub>3</sub>	250	8.6	581	8.5	555	8.7	545	(++)

Realizado por: López, Cristina, 2019

Donde:

(+++): Se forma más rápido los Flóculos, compactos y sedimentados

(++): Formación rápida de Flóculos, pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente

(+): Mayor tiempo de formación de Flóculos, floc pequeños y no es compacto

### 3.2.6.3. Elección del pH óptimo

Una vez determinado el tipo de coagulante a utilizar se procede a elegir el pH más adecuado para el sistema de tratamiento de agua residual, como se muestra a continuación en la tabla 16-3.

**Tabla 16-3:** Elección del pH óptimo del agua residual de “Curtido”

# Muestra	pH inicial	ppm (PAC)	1 hora de reposo		2 horas de reposo		3 horas de reposo		Flóculos
			pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	7.5	250	7.29	46.1	7.19	45.7	7.12	43.2	(+)
2	8	250	7.62	33.9	7.55	32.1	7.35	31.1	(++)
3	8.5	250	8.25	35.6	8.12	34.2	8.05	33.6	(++)
4	9	250	8.40	25.1	8.25	22.1	8.16	9.2	(+++)
5	9.5	250	9.14	37.4	9.02	35.4	8.75	35.2	(++)
6	10	250	9.86	32.1	9.55	29.6	9.15	28.9	(+++)

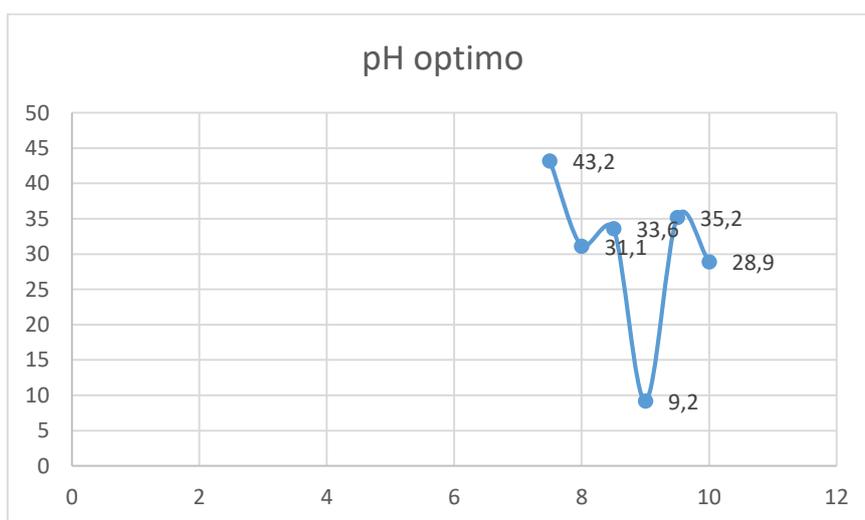
Realizado por: López, Cristina, 2019

Donde:

(+++): Se forma más rápido los Flóculos, compactos y sedimentados

(++): Formación rápida de Flóculos, pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente

(+): Mayor tiempo de formación de Flóculos, floc pequeños y no es compacto



**Gráfica 1-3:** pH óptimo Curtido

Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.2.6.4. Elección de la dosis de PAC a pH constante de 9

Una vez determinado el pH óptimo se trabajó en la elección de la dosis del coagulante seleccionado, se hicieron las pruebas con concentraciones de 10 a 110 ppm como se observa en la Tabla 17-3.

**Tabla 17-3:** Dosis del coagulante (PAC) a un pH de 9

#Muestra	pH inicial	ppm (PAC)	1h de reposo		2h de reposo		3h de reposo		Flóculos
			pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	9	10	8.6	66	8.3	67	7.9	15.2	(++)
2	9	30	8.8	56	8.2	36.1	8.1	9.11	(++)
3	9	50	8.5	47	8.5	61.1	7.8	8.44	(++)
4	9	70	8.6	38	8.3	73.3	8.2	4.34	(+++)
5	9	90	8.9	53	8.5	56.8	8.3	7.27	(++)
6	9	110	8.3	57	8.7	68	7.3	12.5	(++)

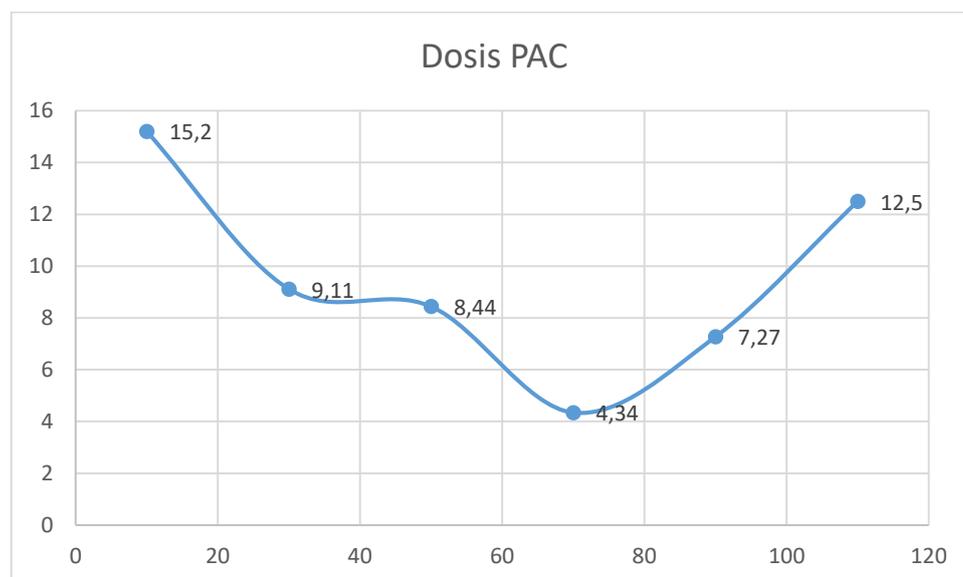
Realizado por: López, Cristina, 2019.

Donde:

(+++): Se forma más rápido los Flóculos, compactos y sedimentados

(++): Formación rápida de Flóculos, pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente

(+): Mayor tiempo de formación de Flóculos, floc pequeños y no es compacto



**Gráfica 2-3:** Dosis PAC Curtido

Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.2.6.5. Elección floculante a una concentración de 70 ppm de PAC y un pH de 9.

Para terminar, se añade el floculante para que se aglomeren las partículas, se utilizara tres tipos de floculantes que son: aniónico, catiónico y no iónico, como se puede observar en la siguiente tabla 18-3.

**Tabla 18-3:** Elección del Floculante

#Muestra	Floculante	Dosis (ppm)	PAC (ppm)	1h de reposo		2h de reposo		3h de reposo		Flóculos
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	Aniónico	10	70	9	3.63	8.6	3.5	8.5	3.7	(+++)
2	Catiónico	10	70	9	18.2	8.5	15.2	8.4	16.7	No reacciona
3	No Iónico	10	70	9	17.27	8.7	16.3	8.6	19.6	No reacciona

Realizado por: López, Cristina 2019.

Donde:

(+++): Se forma más rápido los Flóculos, compactos y sedimentados

(++): Formación rápida de Flóculos, pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente

(+): Mayor tiempo de formación de Flóculos, floc pequeños y no es compacto

### 3.2.6.6. Elección del tiempo de aireación del agua residual de "Pelambre"

Con ayuda del  $MnSO_4$  se procede a realizar el proceso de aireación para bajar la cantidad de sulfuros presentes en el agua residual a una concentración desde 5 hasta 150 ppm, como se indica a continuación en la tabla 19-3.

**Tabla 19-3:** Elección del tiempo de aireación con ayuda de  $MnSO_4$ 

#Muestra	$MnSO_4$ (ppm)	Tiempo de Aireación					
		1h	2h	3h	4h	5h	6h
		Sulfuro	Sulfuro	Sulfuro	Sulfuro	Sulfuro	Sulfuro
1	5	917	768	640	320	185	160
2	15	1024	960	768	320	175	152
3	25	768	640	448	384	320	64
4	50	675	512	325	128	64	88
5	100	448	320	320	105	110	95
6	150	885	756	862	552	465	320

Realizado por: López, Cristina 2019



**Gráfica 3-3:** Tiempo de aireación  
**Realizado por:** López, Cristina 2019

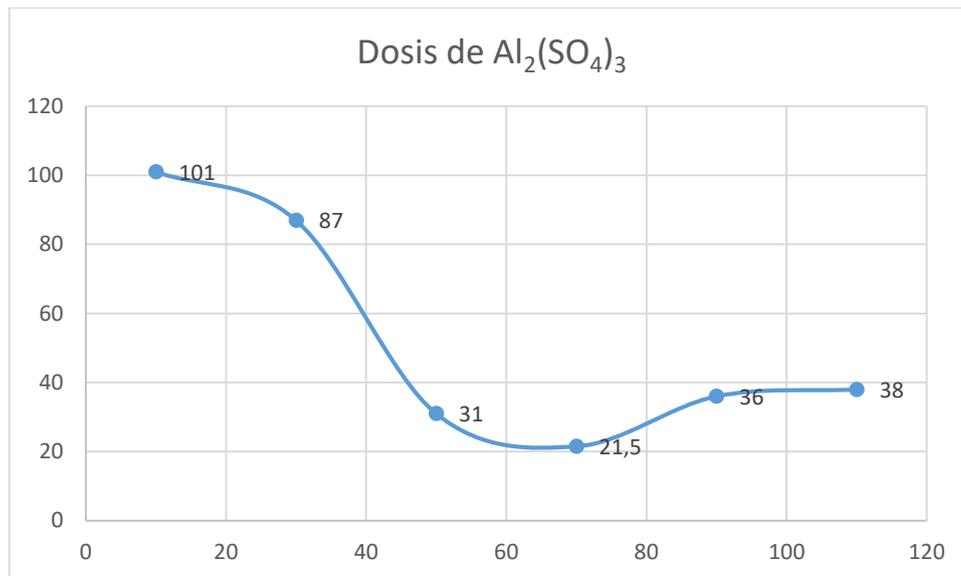
### 3.2.6.7. Elección de la dosis del coagulante $Al_2(SO_4)_3$

Una vez determinado el Tiempo de aireación se procede a determinar la dosis optima en un rango de 10 a 110 como se Muestra a continuación en la tabla 20-3.

**Tabla 20-3:** Elección de la dosis de coagulante

#Muestra	MnSO <sub>4</sub> (ppm)	Tiempo (h)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	1h de reposo	2h de reposo	3h de reposo
				NTU	NTU	NTU
1	25	3	10	135.5	120	101
2	25	3	30	99.1	94.7	87
3	25	3	50	64.6	47	31
4	25	3	70	36.1	26	21.5
5	25	3	90	52	48.3	36
6	25	3	110	66	61.5	38

**Realizado por:** López, Cristina 2019.



**Gráfica 4-3:** Dosis Sulfato de aluminio Pelambre  
Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.2.6.8. Elección de floculante a una concentración de 70 ppm de $Al_2(SO_4)_3$

Para terminar, se realiza la determinación del tipo de floculante en este caso se utilizará tres tipos que son: aniónico, catiónico y no iónico como se muestra en la tabla 21-3.

**Tabla 21-3:** Elección del Floculante

#Muestra	Floculante	MnSO <sub>4</sub> (ppm)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	1h de reposo	2h de reposo	3h de reposo	Flóculos
				NTU	NTU	NTU	
1	Aniónico	25	70	113.63	83.5	63.7	No reacciona
2	Catiónico	25	70	13.5	3.2	2.8	(+++)
3	No Iónico	25	70	117.27	76.3	59.6	No reacciona

Realizado por: López, Cristina 2019

Donde:

(+++): Se forma más rápido los Flóculos, compactos y sedimentados

(++): Formación rápida de Flóculos, pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente

(+): Mayor tiempo de formación de Flóculos, floc pequeños y no es compacto

### 3.2.7. *Determinar las variables y parámetros del proceso para el sistema de tratamiento de aguas residuales*

**Tiempo.-** a mayor tiempo de encalado, mayor efecto de pelambrado y mayor número de puntos reactivos para los materiales siguientes. El depilado tarda de 3-4 horas pero el abrimiento fibrilar requiere más tiempo, aproximadamente unas 18 horas.

**Productos químicos.-** estos son depilantes y encalantes siendo importante el orden de adición de los mismos, a fin de obtener un depilado e hinchamiento controlado.

**pH.-** este deberá incrementarse lentamente, quedando al final del proceso de pelambre entre 11.5 y 12.5. Mientras que en el agua de curtido se obtiene una disminución entre 4.5 y 5.6

### 3.2.8. *Cálculos de ingeniería*

#### 3.2.8.1. *Determinación del caudal de diseño*

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{V}{t}$$

Ecuación 2

Dónde:

Q=Caudal de diseño, L/s

V=Volumen del recipiente, L

t=Tiempo de llenado del recipiente, s

$$Q_{\text{diseño}} = 1.38 \text{ L/s} = 120 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### 3.2.8.2. *Dimensionamiento del tanque de aireación*

➤ Volumen del tanque

$$V = \alpha \times l \times h$$

Ecuación 3

Donde:

$\alpha$ : Ancho del tanque: 3.12m

l: Largo del tanque: 3.12m

h: Altura del tanque: 1.82m

$$V=3.12 \times 3.12 \times 1.82=17.72 \text{ m}^3$$

➤ Calculo de inyección de aire para el agua de pelambre

$$\text{DBO}_5 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \text{DBO}_5 \times Q$$

Ecuación 4

Donde:

DBO<sub>5</sub>: Demanda Biológica de oxígeno: mg/L

Q: Caudal: m<sup>3</sup>/día

$$\text{DBO}_5 \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = 7430 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ kg DBO}_5}{1 \times 10^6 \text{ mg DBO}_5} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{120 \text{ m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{DBO}_5 = 891.6 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{día}}$$

➤ Caudal de aire que va a ser suministrado:

$$Q_{\text{AS}} = 891.6 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{día}} \times \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ kg DBO}_5} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{\text{AS}} = 95.35 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{min}}$$

➤ Calculo de la presión hidrostática

$$P = \rho \times g \times h$$

Ecuación 5

Donde:

ρ: Densidad del agua a 20°C: 998 kg/m<sup>3</sup>

g: Gravedad: 9.8 m/s<sup>2</sup>

h: Altura del tanque: 1.82 m

$$P = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.82 \text{ m}$$

$$P = 17.80 \times 10^3 Pa$$

$$P = 17.80 \times 10^3 Pa \times \frac{1 atm}{101325 Pa} \times \frac{14.7 psi}{1 atm}$$

$$P = 2.58 psi$$

➤ Presión Absoluta

$$P_A = P_a + P$$

Ecuación 6

Donde:

$P_A$ : Presión absoluta

$P_a$ : Presión atmosférica: 14.7 psi

$P$ : Presión hidrostática: 2.58 psi

$$P_A = 14.7 + 2.58$$

$$P_A = 17.28 psi$$

➤ Variación térmica del aire

En la Tabla 22-3 se describe la densidad del agua a diferentes temperaturas para determinar la temperatura a la cual se trabajó en el laboratorio.

**Tabla 22-3:** Propiedades del agua a diferentes temperaturas

Temperatura T [°C]	Densidad $\rho_{\text{agua}}$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico C <sub>p</sub> [J/kg.K]	Viscosidad $\eta$ [Pa.s]	Tensión superficial. $\sigma_{\text{agua}}$ [N/m]
0	999.8	421.76	1793x10 <sup>-6</sup>	0.07564
5	1000.0			
10	999.7	419.21	1307x10 <sup>-6</sup>	0.07423
15	999.1			
20	998.2	418.18	1002x10 <sup>-6</sup>	0.07275
25	997.0			
30	995.6	417.84	797.7x10 <sup>-6</sup>	0.07120
35	994.1			

Fuente: (Madrid, 2019).

$$\Delta T = \frac{T_1}{N} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Ecuación 7

Donde:

T<sub>1</sub>: Temperatura ambiente 20°C

P<sub>2</sub>: Presión absoluta 17.28 psi

P<sub>1</sub>: Presión atmosférica 14.7 psi

N: Eficiencia 75%

$$\Delta T = \frac{20^{\circ}C}{0.75} \left[ \left( \frac{17.28}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right]$$
$$\Delta T = 19.53^{\circ}C$$

➤ Temperatura de la salida del aire

$$T_2 = T_1 + \Delta T$$

Ecuación 8

Donde:

T<sub>1</sub>: Temperatura ambiente 20°C

ΔT: Variación térmica del aire: 19.53 °C

$$T_2 = 20 + 19.53$$

$$T_2 = 39.53^{\circ}C$$

➤ Variación de caudal a tener en cuenta para que no afecte el proceso

$$\Delta Q = \frac{T_1 P_2 Q_{AS}}{P_1 T_2}$$

Ecuación 9

Donde:

T<sub>1</sub>: Temperatura ambiente 20°C

P<sub>2</sub>: Presión absoluta 17.28 psi

P<sub>1</sub>: Presión atmosférica 14.7

Q<sub>AS</sub>: Caudal aire suministrado 95.35 m<sup>3</sup>/min

T<sub>2</sub>: Temperatura salida aire 39.53°C

$$\Delta Q = \frac{20^{\circ}C \times 17.28 \text{ psi} \times 95.35 \text{ m}^3/\text{min}}{14.7 \text{ psi} \times 39.53^{\circ}C}$$

$$\Delta Q = 56.71 \text{ m}^3/\text{min}$$

### 3.2.8.3. Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación

Volumen tanque

$$Vol = \alpha \times l \times h$$

Ecuación 10

Donde:

$\alpha$ : Ancho tanque floculación 3.12m

l: Largo tanque floculación 3.12m

h: altura tanque floculación 1.82m

$$Vol = 3.12m \times 3.12m \times 1.82m$$

$$Vol = 17.72m^3$$

Sistema de agitación para paletas

Longitud de la paleta

$$L = \frac{D}{4}$$

Ecuación 11

Donde:

L: longitud paleta

D: diámetro

$$L = \frac{1.56}{4}$$

$$L = 0.39m$$

Altura paleta

$$W = \frac{D}{4}$$

Ecuación 12

Donde:

W: altura paleta

D: diámetro

$$W = \frac{1.56}{4}$$

$$W = 0.39m$$

Tiempo de retención

$$\theta = \frac{Vol}{Q}$$

Ecuación 13

Donde:

$\theta$ : Tiempo de retención

Vol: Volumen tanque

Q: Caudal

$$\theta = \frac{17.72m^3}{5m^3/h}$$

$$\theta = 3.54h$$

Área de las paletas

$$A = \#Palas \times r$$

Ecuación 14

Donde:

#Palas: 4

r: Radio 4cm<sup>2</sup>

$$A = 4 \times 4cm^2 \times \frac{1m^2}{100cm^2}$$

$$A = 0.0016m^2$$

Velocidad relativa paleta-agua

$$v = 0.8 \times 2 \times \pi \times r \times n$$

Ecuación 15

Donde:

v: velocidad m/s

r: radio cm<sup>2</sup>

n: revoluciones por minuto

$$v = 0.8 \times 2 \times \pi \times 0.04m \times 20rpm \times \frac{1min}{60s}$$

$$v = 6.7 \times 10^{-2}m/s$$

Potencia

$$P = \frac{C_D \times A \times \rho \times v^3}{2}$$

Ecuación 16

Donde:

P: Potencia

C<sub>D</sub>: Coeficiente de arrastre 1.8

A: Área paletas

v: Velocidad

$$P = \frac{1.8 \times 0.0016m^2 \times 998 \frac{kg}{m^3} \times (6.7 \times 10^{-2})^3 \frac{m^3}{s^3}}{2}$$
$$P = 4.3 \times 10^{-4} \frac{kgm^2}{s^3} = 4.3 \times 10^{-4} W$$

Calculo del gradiente velocidad medio

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}}$$

Ecuación 17

Donde:

G: gradiente de velocidad medio

P: potencia

μ: Viscosidad a 20°C: 0.001003 kg/ms

V: volumen del ensayo: 1L

$$G = \sqrt{\frac{4.3 \times 10^{-4} \frac{kgm^2}{s^3}}{0.001003 \frac{kg}{ms} \times 0.001m^3}}$$
$$G = 20.71s^{-1}$$

Volumen del tanque

$$V_{tanque} = \theta \times Q$$

Ecuación 18

Donde:

V<sub>tanque</sub>: volumen del tanque

Q: Caudal

θ: lado de la seguridad

$$V_{tanque} = 20 \text{ min} \times 0.083 \frac{m^3}{min}$$

$$V_{tanque} = 1.66 m^3$$

Calculo potencia unitaria requerida

$$P_{unit} = G^2 \times \mu \times V_{tanque}$$

Ecuación 19

Donde:

Punit: potencia unitaria

G: gradiente de velocidad medio

$\mu$ : Viscosidad a 20°C: 0.001003 kg/ms

Vtanque: volumen del tanque

$$P_{unit} = (20.71s^{-1})^2 \times 0.001003 \frac{kg}{ms} \times 1.66m^3$$

$$P_{unit} = 0.71 \frac{kgm^2}{s^2s} = 0.71 \frac{Joule}{s} = 0.71W$$

Calculo del área requerida

$$A = \frac{2 \times P_{unit}}{C_D \times \rho \times V^3}$$

Ecuación 20

Donde:

A: Área requerida

Punit: Potencia unitaria

$C_D$ : Coeficiente de arrastre 1.8

$\rho$ : Densidad del agua a 20°C: 998 kg/m<sup>3</sup>

$$V = 0.75 \times 2 \times \pi \times r \times n$$

Ecuación 21

$$A = \frac{2 \times 0.71 \frac{kgm^2}{s^3}}{1.8 \times 998 \frac{kg}{m^3} \times \left(0.75 \times 2 \times \pi \times 0.04m \times 0.33 \frac{revoluciones}{s}\right)^3}$$

$$A = 3.30m^2$$

### 3.2.8.4. Dimensionamiento del Tanque Decantador primario circular

Para realizar el tratamiento biológico se utiliza la decantación primaria en donde los parámetros deben estar como se muestra en la Tabla 23-3 con una carga superficial menor a 1.3 hasta 2.5.

**Tabla 23-3:** Parámetros para determinar el tipo de decantador a utilizar

Tipo de tratamiento biológico	Carga Superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)		Carga vertedero (m <sup>3</sup> /m h)		Calado (m)
	Media	Punta	Media	Punta	
Decantación primaria	≤ 1.3	≤ 2.5	10	40	2.0-3.3 (rectangular)
Decantación primaria con adición de fango activado en exceso	≤ 1.2	≤ 2.2			2.5-4.1 (circular)
Tiempo de retención hidráulico (h)				Medio	2-3
				Punta	≥ 1

Fuente: (Naranjo, 2016).

Calculo  $\theta_{pta}$

$$\theta_{pta} = \frac{V}{Q_{pta}} = \frac{S \times h}{Q_{pta}}$$

Ecuación 22

Donde:

S: área

h: Altura 46cm

Q<sub>pta</sub>: Caudal de punta

$$A = \pi \times r^2$$

Ecuación 23

Donde:

r: Radio del tanque

$$A = \pi \times (1.75m)^2$$

$$A = 9.62m^2$$

$$\theta_{pta} = \frac{9.62m^2 \times 0.46m}{0.7 \frac{m^3}{h}}$$

$$\theta_{pta} = 6.32h$$

Calculo para determinar la altura

$$h = \frac{Q_{med} \times \theta_{med}}{S}$$

Ecuación 24

Donde:

Q<sub>med</sub>: Caudal

θ<sub>med</sub>: [2.3]:2.5

$$h = \frac{5m^3/h \times 2.5h}{9.62m^2}$$

$$h = 1.30m$$

Calculo del área total

$$Cs = \frac{Q}{S}$$

Ecuación 25

$$S = \frac{Q}{Cs}$$

Ecuación 26

Donde:

S: área

Q: caudal

Cs: carga superficial

$$Cs = \frac{Q_{med}}{S}$$

$$Cs = \frac{5m^3/h}{9.62m^2} = 0.52m^3/m^2h$$

$$Cs = \frac{Q_{pta}}{S}$$

$$Cs = \frac{0.7m^3/h}{9.62m^2} = 0.07m^3/m^2h$$

$$S = \frac{Q_{med}}{Cs}$$

$$S = \frac{5m^3/h}{0.52m^3/m^2h} = 9.62m^2$$

$$S = \frac{Q_{pta}}{C_s}$$

$$S = \frac{0.7m^3/h}{0.07m^3/m^2h} = 10m^2$$

Se escoge siempre el área mayor es decir  $10m^2$

Diámetro del decantador

$$d = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi \times n^{\circ}dec}}$$

Ecuación 27

Donde:

d: diámetro

S: área

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 10m^2}{\pi \times 1}}$$

$$d = 3.57m$$

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Caracterización de los efluentes

A continuación, se muestra los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, sulfuro y sulfato antes de realizar el tratamiento mostrando el límite que debe obtener como se muestra en la Tabla 24-3.

**Tabla 24-3:** Caracterización de la Planta de Tratamiento para el agua de Pelambre

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	250	5800
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	20 700
Sulfuro	mg/L	1	1024
Sulfato	mg/L	400	1750

Realizado por: López, Cristina 2019.

A continuación, se muestra los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cromo hexavalente y Cromo total antes de realizar el tratamiento mostrando el límite que debe obtener como se muestra en la Tabla 25-3.

**Tabla 25-3:** Caracterización de la planta de Tratamiento para el agua de Curtido

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del Tratamiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	250	17 400
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	32 300
Cromo hexavalente	mg/L	0.5	0.045
Cromo total	mg/L	.....	103.47

Realizado por: López, Cristina 2019.

### 3.3.2. Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua residual.

La primera etapa de tratamiento consiste en un tanque de aireación con una capacidad de 17.72 m<sup>3</sup>, lo que se representa en la Tabla 26-3.

**Tabla 26-3:** Dimensionamiento del tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de aireación (Por implementar)</b>			
Volumen	V	m <sup>3</sup>	17.72
Inyección de aire	DBO <sub>5</sub>	Kg/día	891.6
Caudal de aire	Q	m <sup>3</sup> /min	95.35
Presión hidrostática	P	Psi	2.58
Presión absoluta	P <sub>A</sub>	Psi	17.28
Variación térmica del aire	$\Delta T$	°C	19.53
Temperatura salida del aire	T <sub>2</sub>	°C	39.53
Variación del caudal	$\Delta Q$	m <sup>3</sup> /min	56.71

Realizado por: López, Cristina 2019.

### 3.3.3. Dimensionamiento del tanque de coagulación- floculación

El tanque de coagulación- floculación se encargara de realizar el tratamiento químico del agua residual con un tiempo de retención de 3.54 h. Una vez realizados los cálculos se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 27-3.

**Tabla 27-3:** Dimensionamiento del tanque coagulación-floculación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de coagulación-floculación (Por implementar)</b>			
Volumen tanque	Vol	m <sup>3</sup>	17.72
Longitud de paleta	L	M	0.39
Altura de paleta	W	M	0.39
Tiempo de retención	$\Theta$	H	3.54
Área de paleta	A	m <sup>2</sup>	0.0016
Velocidad relativa de agua	V	m/s	6.7x10 <sup>-2</sup>
Potencia	P	W	4.3x10 <sup>-4</sup>
Gradiente velocidad medio	G	s <sup>-1</sup>	20.71
Volumen del tanque	Vtanque	m <sup>3</sup>	1.66
Potencia unitaria	Punit	W	0.71
Área requerida	A	m <sup>2</sup>	3.30

Realizado por: López, Cristina 2019.

### 3.3.4. Dimensionamiento tanque decantador primario circular

Para finalizar el Tratamiento se coloca un decantador primario encargado de separar por acción de la gravedad los sólidos contaminantes del agua residual tratada, de este modo se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Tabla 28-3.

**Tabla 28-3:** Dimensionamiento tanque decantador primario circular

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Decantador primario circular (Por implementar)</b>			
Determinación Altura	h	M	1.30
Área total	S	m <sup>2</sup>	10
Diámetro	d	M	3.57
	$\theta_{pta}$	H	6.32
Área	A	m <sup>2</sup>	9.62

Realizado por: López, Cristina 2019.

### 3.3.5. Resultado del tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de agua residual de pelambre y curtido no cumple con las necesidades requeridas por lo tanto se procedió a realizar el rediseño enfocándose en la reducción de los parámetros fuera de norma.

Se realizó pruebas de tratabilidad para determinar la cantidad de contaminantes existentes en el agua de pelambre que se muestra en la Tabla 29-3. Como se indica en el anexo I, K, M.

**Tabla 29-3:** Resultado de pruebas de tratabilidad “Pelambre”

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Limite	Unidades
	05 de Diciembre	22 de Enero	18 de Marzo		TULS MA /Tabla 9	
pH	12.48	12.25	12.12	12.28	6 – 9	-
Conductividad	16.56	12.94	15.9	15.13	-	μS/cm
Turbiedad	1700	869	760	1109	-	NTU
DQO	20 700	14 600	13 490	11 771	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	5800	8800	7690	7430	250	mg/L
Solidos sedimentables	5	3	0.7	2.9	20	mL/L
Solidos totales	12.16	9.8	10.2	10.72	1600	g/L
Sulfuros	1024	917.33	896	945.77	1	mg/L
Sulfatos	1750	1500	1300	1516.67	400	mg/L

Fuente: Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019

Se realizó pruebas de tratabilidad para determinar la cantidad de contaminantes existentes en el agua de curtido que se muestra en la Tabla 30-3. Como se indica en el anexo P, R, T.

**Tabla 30-3: Resultados análisis agua residual de “Curtido”**

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Limite	Unidades
	12 de Abril	30 de Abril	30 de Mayo		TULS MA /Tabla 9	
pH	4.53	4.76	3.74	4.34	6 – 9	-
Conductividad	42.3	45.2	32.5	40	-	μS/cm
Turbiedad	10.06	11.32	11.30	10.89	-	NTU
DQO	32 300	7200	7600	15 700	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	17 400	17 400	2100	12 300	250	mg/L
Solidos sedimentables	2	2	3	2.33	20	mL/L
Solidos totales	17.2	20.12	13.04	16.79	1600	g/L
Cromo hexavalente	0.045	0.088	0.078	0.070	0.5	mg/L
Cromo Total	103.47	116.03	108.21	109.24	-	mg/L

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)

Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019

### 3.3.6. Comparación de resultados de agua residual antes y después del tratamiento

Se realizó una comparación luego del tratamiento para determinar la cantidad de contaminantes que fueron en el agua de pelambre que se muestra en la Tabla 31-3 y el anexo I, J.

**Tabla 31-3:** Comparación del agua antes y después del tratamiento “Pelambre”

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	TULSMA	Unidades
pH	12.48	<b>9</b>	6-9	-
Conductividad	16.56	<b>0.92</b>	-	μS/cm
Turbidez	1700	<b>2.9</b>	-	NTU
DQO	20 700	<b>220</b>	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	5800	<b>144</b>	250	mg/L
Sólidos sedimentables	5	<b>1</b>	130	mg/L
Sólidos totales	12.16	<b>1.2</b>	1600	g/L
Sulfuro	1024	<b>12.8</b>	1	mg/L
Sulfato	1750	<b>1350</b>	400	mg/L

Fuente: Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019.

Se realizó una comparación luego del tratamiento para determinar la cantidad de contaminantes que fueron en el agua de curtido que se muestra en la Tabla 32-3 y el anexo O, P.

**Tabla 32-3:** Comparación del agua antes y después del tratamiento “Curtido”

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	TULSMA	Unidades
pH	4.53	<b>9</b>	6-9	-
Conductividad	42.3	<b>6.8</b>	-	μS/cm
Turbidez	10.06	<b>3.97</b>	-	NTU
DQO	32 300	<b>490</b>	500	mg/L
DBO <sub>5</sub>	17 400	<b>170</b>	250	mg/L
Sólidos sedimentables	2	<b>1</b>	130	mg/L
Sólidos totales	17.2	<b>2.2</b>	1600	g/L
Cromo hexavalente	0.045	<b>0.031</b>	0.5	mg/L
Cromo total	103.47	<b>11.82</b>	-	mg/L

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)

Laboratorio de análisis de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: López, Cristina, 2019

### 3.3.7. Rendimiento de tratabilidad (Porcentaje de remoción)

Una vez que se determine la reducción de los parámetros fuera de norma se procede a realizar el porcentaje de remoción como se Muestra a continuación.

3.3.7.1. *Porcentaje de remoción de turbiedad*

**Tabla 33-3:** *Porcentaje de remoción de turbiedad*

Determinación	Pelambre		% de remoción	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada		Agua sin tratar	Agua tratada	
<b>Turbiedad</b>	1700	2.9	99.82	10.06	3.97	60.54

Realizado por: López, Cristina, 2019.

3.3.7.2. *Porcentaje de remoción de solidos sedimentables*

**Tabla 34-3:** *Porcentaje de remoción sólidos sedimentables*

Determinación	Pelambre		% de remoción	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada		Agua sin tratar	Agua tratada	
<b>Sólidos sedimentables</b>	5	1	80	2	1	50

Realizado por: López, Cristina, 2019

3.3.7.3. *Porcentaje de remoción Sólidos totales*

**Tabla 35-3:** *Porcentaje de remoción sólidos totales*

Determinación	Pelambre		% de remoción	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada		Agua sin tratar	Agua tratada	
<b>Sólidos totales</b>	12.16	1.2	90.13	17.2	2.2	87.21

Realizado por: López, Cristina, 2019

3.3.7.4. *Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno*

**Tabla 36-3:** *Porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno*

Determinación	Pelambre		% de remoción	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada		Agua sin tratar	Agua tratada	
<b>DQO</b>	20 700	220	98.94	32 300	490	98.48

Realizado por: López, Cristina, 2019

3.3.7.5. *Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno*

**Tabla 37-3:** Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Determinación	Pelambre		% de remoción	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada		Agua sin tratar	Agua tratada	
DBO <sub>5</sub>	5800	144	97.52	17 400	170	99.02

Realizado por: López, Cristina, 2019

3.3.7.6. *Porcentaje de remoción de sulfuros y sulfatos en el agua residual de pelambre*

**Tabla 38-3:** Porcentaje de remoción de sulfuros y sulfato

Determinación	Pelambre		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada	
Sulfuro	1024	12.8	98.75
Sulfato	1750	1350	20.86

Realizado por: López, Cristina, 2019

3.3.7.7. *Porcentaje de remoción de cromo hexavalente y cromo total en el agua residual de curtido*

**Tabla 39-3:** Porcentaje de remoción de cromo hexavalente y cromo total

Determinación	Curtido		% de remoción
	Agua sin tratar	Agua tratada	
Cromo hexavalente	0.045	0.031	31.11
Cromo total	103.47	11.82	88.58

Realizado por: López, Cristina, 2019

### 3.4. Proceso de producción

Una vez realizado la tratabilidad del agua de Pelambre y Curtido la planta estará diseñada y constará con las siguientes dosificaciones tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial.

#### 3.4.1. *Dosificación para el agua de Pelambre*

Se realiza las dosis a nivel de laboratorio, para que la planta pueda variar sus concentraciones de dosificación química.

3.4.1.1. *Dosificación del sulfato de manganeso a nivel de laboratorio*

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Ecuación 28

Donde

$C_1$ : concentración de la solución

$C_2$ : concentración de la solución en la dosificación óptima

$V_1$ : volumen de la dosificación óptima de la solución

$V_2$ : volumen de la dosificación óptima de la muestra de agua residual

$$C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0.01 \frac{g}{ml} (10ml)}{1000ml}$$

$$C_2 = 0.0001 \frac{g}{ml} \times \frac{1000 ml}{1 l}$$

$$C_2 = 0.1 \frac{g}{l}$$

3.4.1.2. *Dosificación del sulfato de manganeso a nivel industrial*

$$PMnSO_4 = Q \times C_2$$

Ecuación 29

Donde:

$Q$  caudal de diseño

$C_2$ : Concentración de sulfato de aluminio en la dosificación óptima

$$PMnSO_4 = 120.000 \frac{l}{dia} \times 0.1 \frac{g}{l}$$

$$PMnSO_4 = 12.000 \frac{g}{dia} \times \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$PMnSO_4 = 12 \frac{kg}{dia}$$

3.4.1.3. *Dosificación del coagulante sulfato de aluminio a nivel de laboratorio*

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0.05 \frac{g}{ml} (10ml)}{1000ml}$$

$$C_2 = 0.0005 \frac{g}{ml} \times \frac{1000 ml}{1 l}$$

$$C_2 = 0.5 \frac{g}{l}$$

3.4.1.4. *Dosificación del coagulante sulfato de aluminio a nivel industrial*

$$P_{Al_2(SO_4)_3} = Q \times C_2$$

$$P_{Al_2(SO_4)_3} = 120.000 \frac{l}{dia} \times 0.5 \frac{g}{l}$$

$$P_{Al_2(SO_4)_3} = 60.000 \frac{g}{dia} \times \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$P_{Al_2(SO_4)_3} = 60 kg/dia$$

3.4.2. *Dosificación para el agua de Curtido*

3.4.2.1. *Dosificación del coagulante Poli cloruro de aluminio a nivel de laboratorio*

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0.1 \frac{g}{ml} (10ml)}{1000 ml}$$

$$C_2 = 0.001 \frac{g}{ml} \times \frac{1000 ml}{1 l}$$

$$C_2 = 0.1 \frac{g}{l}$$

3.4.2.2. *Dosificación del coagulante Poli cloruro de aluminio a nivel industrial.*

$$P_{PAC} = Q \times C_2$$

$$P_{PAC} = 120.000 \frac{l}{dia} \times 0.1 \frac{g}{l}$$

$$P_{PAC} = 12.000 \frac{g}{dia} \times \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$P_{PAC} = 12 \frac{kg}{dia}$$

#### 3.4.2.3. Dosificación cal a nivel industrial

$$P_{cal} = Q \times C_2$$

$$P_{PAC} = 120.000 \frac{l}{dia} \times 3.3 \frac{g}{l}$$

$$P_{PAC} = 396.000 \frac{g}{dia} \times \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$P_{PAC} = 396 \frac{kg}{dia}$$

#### 3.4.3. Propuesta del sistema de tratamiento

Actualmente las aguas residuales generadas en los procesos de pelambre y curtido en la curtiduría “Cristo del Consuelo” son descargadas al sistema de alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento previo, de ahí nace la necesidad de realizar un estudio que contribuye a la reducción del impacto ambiental que se genera.

Mediante un muestreo del agua residual de pelambre y curtido y su posterior caracterización se determinó varios parámetros que se encuentran fuera de norma, mismos que fueron tratados a nivel de laboratorio con el objetivo de reducir su carga contaminante y se genera un rediseño para el sistema de tratamiento de aguas residuales que favorece a la protección ambiental de los sectores donde se ubica la planta y sus habitantes.

Se determinó realizar el rediseño de la planta tanto para el agua de pelambre como de curtido debido a que en la empresa estos procesos se realizan por separado una semana pelambre y el otro curtido, el agua de pelambre constara de un tanque de aireación, coagulación-floculación y un decantador primario, en cambio el agua de curtido constara de un tanque de coagulación floculación y un decantador primario. La propuesta del sistema de tratamiento se ha basado en procesos físico químicos. Como se indica en el anexo V.

### 3.5. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Se describe las características de los equipos que serán utilizados en el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la Curtiembre “Cristo del Consuelo”.

#### 3.5.1. *Requerimientos de materiales y equipos para el muestreo de caudal de aguas residuales*

**Tabla 40-3:** Materiales y equipos para el muestreo del caudal

<b>Equipos</b>	<b>Materiales</b>
Cronómetro	Guantes Mandil Balde graduado Mascarilla Esfero Cuaderno

**Realizado por:** López, Cristina, 2019.

#### 3.5.2. *Requerimientos de equipos y método para realizar la caracterización física química del agua residual de pelambre y curtido.*

**Tabla 41-3:** Materiales, equipos y reactivos para realizar pruebas de coagulación-floculación.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Mandil Guantes Mascarillas Paños para limpieza Balones de aforación Espátulas Jeringuillas Pizeta Vasos de precipitación Probeta Bureta Compresor Agitador Erlenmeyer	Balanza analítica Jar test Turbidímetro pH metro Estufa Compresor Reverbero	Poli cloruro de aluminio Sulfato de aluminio Cloruro férrico Sulfato de manganeso Cal Agua destilada Tiosulfato 0.1N Almidón Yodo 0.1N Ácido clorhídrico 6.34N Alcohol

**Fuente:** Laboratorio de Calidad de agua. ESPOCH

**Realizado por:** López, Cristina 2019

### 3.6. Requerimiento de costos

#### 3.6.1. Costos para el tratamiento de aguas residuales

**Tabla 42-3:** Determinación de los costos del Sistema de tratamiento de agua residual

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Global \$
<b>Tanque de aireación</b>				
Tubo de acero al carbón SCH 40 ASTM-53 de 200mm (Longitud de 11m)	Unidad	1	340.00	340.00
Codo 90° ASTM A234 WPB	Unidad	3	45.00	135.00
Tee HG 8"	Unidad	1	80.00	80.00
Difusores	m	16	15.00	240.00
Compresor 10HP	Unidad	1	1500.00	1500.00
			<b>Subtotal</b>	<b>2295.00</b>
<b>Tanque de floculación-coagulación</b>				
Láminas de acero PL e=6mm (Paletas)	kg	40	1.90	76.00
Acero AISI 1018 L=1500, D=40mm (Eje)	kg	12	1.50	18.00
Suministro e instalación de motor de 1HP	Unidad	1	200	200.00
			<b>Subtotal</b>	<b>294.00</b>
<b>Decantador primario</b>				
Hormigón simple FC=210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3	120.20	360.6
Enlucido vertical con impermeabilización	m <sup>2</sup>	10	9.45	94.50
Replanteo HS 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	3	20.50	61.50
			<b>Subtotal</b>	<b>516.60</b>
<b>Precio total del Sistema físico de tratamiento</b>				<b>3105.60</b>

Realizado por: López, Cristina 2019

#### 3.6.2. Costo de la dosificación de los diferentes químicos a utilizarse en la tratabilidad del agua residual

**Tabla 43-3:** Costos de químicos

Detalle	Dosificación kg/día	Presentación kg	Costo por unidad \$	Costo por día \$
Poli cloruro de Aluminio	12	25	36.40	17.47
Cal	27	25	7	7.56
Sulfato de manganeso	10	25	36.25	14.50
Sulfato de aluminio	12	25	38.13	18.30
			<b>Total</b>	<b>57.83</b>

Realizado por: López, Cristina 2019

### 3.7. Cronograma de ejecución del proyecto

ACTIVIDADES/TIEMPO	MES																							
	1				2				3				4				5				6			
Actividades Preliminares	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Asignación de tutor	■	■	■	■																				
Información de la empresa	■	■	■	■	■	■	■	■																
Transporte de muestra									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Análisis de Laboratorio									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Pruebas de tratabilidad									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Determinar las variables del proceso													■	■	■	■	■	■	■	■				
Realizar los cálculos pertinentes.													■	■	■	■	■	■	■	■				
Revisión del trabajo																	■	■	■	■	■	■	■	■
Auditoria académica																					■	■	■	■
Defensa del trabajo																					■	■	■	■

Elaborado por: LÓPEZ, Cristina. ESPOCH 2019.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente análisis se llevó a cabo teniendo en cuenta que en la empresa “Cristo del Consuelo” existe un Sistema de tratamiento físico de aguas residuales, el cual consta de un sistema de rejillas, dos tanques cuadrados y dos tanques circulares el cual no cumple su objetivo que es eliminar o retirar los contaminantes existentes exigidos por el TULSMA.

Esto se pudo determinar mediante la eficiencia en el agua de pelambre obteniendo valores de: DBO 25%, DQO 27.5%, sulfuro 3.52%, sulfato 19.51% y en el agua de curtido DBO 13.51%, DQO 9.52%, cromo hexavalente 13.3% y cromo total 22.87% lo cual nos indica que se debe realizar un tratamiento para disminuir dichos contaminantes que son descargado a la alcantarilla directamente, no obstante se partió con la toma de caudal mediante el método volumétrico realizado los meses de Enero, Febrero y Marzo de 2019.

Mediante la caracterización física química de las muestras realizadas y con un promedio de las mismas, se identificó que se encontraba fuera de los límites permisibles de cada muestra basados en la norma TULSMA Tabla 9. Los cuales fueron pH, turbiedad, conductividad, solidos suspendidos, solidos totales, cromo hexavalente, cromo total, sulfuros, sulfatos, DBO<sub>5</sub> y DQO.

Para la tratabilidad del agua residual se consideró emplear el test de jarras aplicando diferentes coagulantes hasta llegar a los más óptimos, una vez determinados se procede a la dosificación y concentración más adecuada en cada agua residual. En el agua de pelambre primero se determine la cantidad de sulfato de manganeso a utilizar, luego el Tiempo de aireación hasta que los sulfuros se reduzcan y finalmente la elección del coagulante a utilizar. En cambio en el agua de curtido primero se realiza la determinación de la cantidad de cal a utilizar para determinar el pH óptimo luego la dosificación del coagulante, y el Tiempo en el cual se debe tener la agitación.

El promedio de la muestra de pelambre presentaba una turbiedad de 1109 NTU y un pH de 12.28, además de otros parámetros como: DQO de 11 771 mg/l, DBO de 7430 mg/l, solidos sedimentables 2.9 ml/l, solidos totales 10.72 g/l, sulfuros 945.77 mg/l y sulfatos 1516.67 mg/l. Luego del tratamiento es: DQO de 220 mg/l, DBO de 144 mg/l, solidos sedimentables de 1 ml/l, solidos totales de 1.2 g/l, sulfuros de 12.8 mg/l y sulfatos de 1350 mg/l.

El promedio de la muestra de curtido presentaba una turbiedad de 10.89 NTU y un pH de 4.34, además de otros parámetros como: DQO de 15 700 mg/l, DBO de 12 300 mg/l, solidos sedimentables 2.33 ml/l, solidos totales de 16.79 g/l, cromo hexavalente de 0.070 mg/l y cromo

total 109.24 mg/l. Y después del tratamiento es de DQO 490 mg/l, DBO 170 mg/l, solidos sedimentables 1 ml/l, solidos totales 2.2 g/l, cromo hexavalente 0.031 mg/l y cromo total 11.82 mg/l.

El Sistema actual cuenta con tanques que actúan como etapas de tratamiento, pero no cumple la función para la que fueron creados solo están diseñados para recoger el agua antes de que vaya al alcantarillado, por lo cual se vio la necesidad de rediseñar el Sistema de tratamiento de aguas residuales empleando aireación, floculación coagulación y un decantador primario logrando que el agua se devuelva al ambiente con los parámetros exigidos en la norma. Para lo cual la planta debe realizar una inversión de 3105.60 dólares para su infraestructura y 57.83 dólares de inversión diaria para los químicos necesarios.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización del agua residual proveniente de la etapa de pelambre y curtido dando como resultado los siguientes parámetros; en pelambre: Turbiedad: 1700 NTU, pH: 12.48, DQO: 20 700 mg/L, DBO: 5800 mg/L, solidos sedimentables: 5 mL/L, solidos totales: 12.16 g/L, sulfuros: 1024 mg/L y sulfatos: 1750 mg/L. En el agua curtido: Turbiedad: 10.06 NTU, pH: 4.53, DQO: 32 300 mg/L, DBO: 17 400 mg/L, solidos sedimentables: 2 mL/L, solidos totales: 17.2 g/L, cromo hexavalente: 0.045 mg/L y cromo total: 103.47 mg/L. Con estos resultados se evidencio que no cumplen con los límites máximos permisibles.
- Mediante ensayo de laboratorio y con ayuda de las pruebas de tratabilidad en el agua de pelambre son: el sulfato de manganeso 0.1 g/L con aireación para reducir sulfuros, el sulfato de aluminio 0.5 g/L como coagulante y el floculante catiónico 0.1 g/L, en cambio en el agua de curtido son: la cal 3.3 g/L el regulador de pH, el poli cloruro de aluminio 0.1 g/L como coagulante y el floculante aniónico 0.1 g/L.
- Las variables identificadas para llevar a cabo el rediseño de la planta de tratamiento de agua residual de la etapa de pelambre y curtido de la curtiduría “Cristo del Consuelo” son: caudal, aireación, dosificación coagulante-floculante, tiempo y pH.
- Al realizar los cálculos de ingeniería se propone implementar el diseño de un tanque de aireación de 17.72 m<sup>3</sup>, Sistema de agitación de 17.72 m<sup>3</sup> y un decantador primario 9.62 m<sup>3</sup>, todos estos como una nueva alternativa para el mejoramiento del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Se realizó la validación en base a lo establecido en la tabla 8 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público teniendo un porcentaje de remoción, en el agua de pelambre: DBO: 97.52%, DQO: 98.94%, Sulfuro: 98.75% y Sulfato: 20.86% y en el agua de curtido: DBO: 99.02%, DQO: 98.48%, Cromo hexavalente: 31.11% y Cromo Total: 88.58%, los valores antes mencionado cumplen con los limites máximo permisibles definidos en la normativa ambiental.

## **RECOMENDACIONES**

- La utilización de guantes, mascarilla para evitar que los químicos causen problemas en la salud de los trabajadores que van a operar los mismos.
- Implementar el Sistema de tratamiento lo antes posible para evitar contaminaciones al medio ambiente y a la gente de su alrededor.
- Realizar un tratamiento secundario para la recuperación de lodos en el proceso de curtido ayudando a la empresa a la reutilización del mismo.
- Tener la dosificación exacta de los químicos utilizados en los procesos de pelambre y curtido para realizar un tratamiento éxito

## GLOSARIO

<b>V</b>	Volumen
<b>T</b>	Tiempo
<b>L</b>	Largo
<b>h</b>	Altura
<b><math>\alpha</math></b>	Ancho
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>Q<sub>AS</sub></b>	Caudal del aire suministrado
<b>P</b>	Presión hidrostática
<b>P<sub>A</sub></b>	Presión absoluta
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>g</b>	Gravedad
<b>P<sub>a</sub></b>	Presión atmosférica
<b><math>\Delta T</math></b>	Variación térmica del aire
<b>T<sub>1</sub></b>	Temperatura del ambiente
<b>N</b>	Eficiencia
<b>P<sub>2</sub></b>	Presión absoluta
<b>T<sub>2</sub></b>	Temperatura salida del aire
<b><math>\Delta Q</math></b>	Variación del caudal
<b>Vol</b>	Volumen del tanque
<b>L</b>	Longitud de la paleta
<b>D</b>	Diámetro
<b>W</b>	Altura de la paleta
<b><math>\theta</math></b>	Tiempo de retención

<b>A</b>	Área
<b>r</b>	Radio
<b>n</b>	Revoluciones
<b>P</b>	Potencia
<b>C<sub>D</sub></b>	Coefficiente de difusión
<b>G</b>	Gradiente
<b>μ</b>	Viscosidad
<b>V<sub>tanque</sub></b>	Volumen del tanque
<b>P<sub>unit</sub></b>	Potencia unitaria
<b>θ<sub>pta</sub></b>	Tiempo de retención punta
<b>Q<sub>med</sub></b>	Caudal medio
<b>θ<sub>med</sub></b>	Tiempo de retención medio
<b>S</b>	Área
<b>C<sub>s</sub></b>	Carga superficial
<b>d</b>	Diámetro
<b>n°dec</b>	Numero de decantadores
<b>mg/L</b>	miligramo por litro
<b>ml/L</b>	mililitro por litro
<b>Cr<sup>+6</sup></b>	Cromo hexavalente
<b>MAE</b>	Ministerio del ambiente
<b>GAD</b>	Gobierno autónomo descentralizado
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Km<sup>3</sup>/año</b>	Kilómetros cúbicos por año
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Cs</b>	Cesio
<b>Sr</b>	Estroncio

<b>P</b>	Fosforo
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeno
<b>T</b>	Temperatura
<b>S<sup>2-</sup></b>	Sulfuros
<b>Cr tot.</b>	Cromo total
<b>NaCl</b>	Cloruro de sodio

## BIBLIOGRAFÍA

A.ATEN, R.FARADAY, E.Knew, 1955. Flaying and curing of hides and skins as a rural industry. In : . 1955.

A.MARSAL, J.Font, 2006. Libro de producción De Piel Y Cuero Libre De cromo (VI). In : . 2006. n° Vi, p. 4-7.

ALBERTO SEVERICHE SIERRA, Carlos et GONZÁLEZ GARCÍA, Humberto, 2013. Verificación Analítica Para Las Determinaciones De Cromo Hexavalente En Aguas Por Espectrofotometría Assesment of an Analytical Method for Determining Hexavalent Chromiun in Water Using Spectrophotometry. In : *Ing. USBMed*. 2013. Vol. 4, n° 1, p. 22-26.

BOGOTA, cifras del sector, 2011. Curtido , Recurtido Y Teñido De Piel. In : . 2011. p. 472.

C, Gilberto Salas, QUÍMICA, Facultad De, NACIONAL, Universidad et SAN, Mayor De, 2005. Eliminacion de sulfuros por oxidacion en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. In : . 2005. Vol. 8, p. 49-54.

CERÓN, Pamela, 2011. Estudio de un sistema fisico-quimico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre. In : [en ligne]. 2011. p. 142. Disponible à l'adresse : <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1248>.

CONSULTORIA DE AGUAS, 2009. Ensayo de coagulacion ( jar test ) ensayo de coagulacion ( jar test ) Reactivos y Aparatos necesarios. In : [en ligne]. 2009. DOI 10.12968/ijpn.2005.11.8.19611. Disponible à l'adresse : [http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/14\\_Ensayo\\_de\\_coagulacion.pdf](http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/14_Ensayo_de_coagulacion.pdf).

CUERO, D E Curtiembre Produccion, 2015. Ambiental Expost Y “ Produccion De Cuero ”. In : . 2015.

ELIANA ESPARZA Y NADIA GAMBOA, 2001. Contaminacion debida a la industria de curtiembre. In : . 2001. Vol. XV.

GARCIA, Jenny Carolina et GUITIERREZ, Janneth Paola, 2006. Impacto Ambiental Generado En El Proceso Productivo De La Empresa Curtidos Del Oriente Barrio San Benito Bogota 2006. In : . 2006. p. 73.

GARCÍA, Juan et XIRAU, María, 2013. Manual de análisis de Vinos. In : [en ligne]. 2013.

Disponible à l'adresse : <http://www.usc.es/caa/MetAnalysisStgo1/enologia.pdf>.

GARCÍA, M Espigares, PÉREZ, J A et generalidades, López, 2002. Aguas Residuales. Composición. In : [en ligne]. 2002. p. 22. Disponible à l'adresse : [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf).

GARCÍA, Miguel, 2010. Tratamientos específicos de vertidos industriales – Parte I. In : *Tratamiento de Aguas Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*. 2010.

HANSEL CÓRDOVA BRAVO;ET.AL., 2014. Acomplejantes De Cromo. In : . 2014. Vol. 80, n° 3, p. 183-191.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2013. Nte Inen 1202 : 2013. Agua. Demanda Bioquímica De Oxígeno. In : . 2013.

AFANADOR, Maria Gaitan y Marta Duque, 2012. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Programa de Físicoquímica Ambiental. In : . 2012. p. 17.

LA, Para, LIMPIA, Producción, LA, E N et curtiembres, Industria D E, 2018. Cuero y Calzado. In : [en ligne]. 2018. p. 1-32. Disponible à l'adresse : [https://www.sectorial.co/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=106&Itemid=251](https://www.sectorial.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=106&Itemid=251).

LABORATORIO NACIONAL DE SALUBRIDAD., DIRECCIÓN GENERAL DE CONTROL DE ALIMENTOS, BEBIDAS Y MEDICAMENTOS DE LA SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA., LABORATORIO CENTRAL DE LA SECRETARÍA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Elías pando, s.a. de c. V. Herdez, s. A., clemente jacques, y cia. S.a. productos del monte, s.a. de c. V. La costeña. Et productos pesqueros mexicanos. Empacadora del bajío, s. A., 1978. Nmx-f-317-s-1978. Determinación de ph en alimentos. In : *Diario Oficial de la Federación*. 1978. p. 4-6. DOI 10.1515/ijcre-2012-0017.

MADRID, Universidad Complutense, 2019. Propiedades del agua en función de su temperatura Temperatura Densidad Viscosidad. In : . 2019. p. 6.

MCCANN, Michael, 2014. Cuero, pieles y calzado. In : *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo OIT*. 2014. p. 88.1-88.13.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015. Registro Oficial N° 387. Reforma del Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. In : [en ligne]. 2015. p. 1-184.

Disponible à l'adresse : [http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links\\_doc\\_contaminantes/REGISTRO OFICIAL 387 - AM 140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO_OFICIAL_387_-_AM_140.pdf).

MOROCHO, Mario Vinicio, 2017. Tratamiento de Aguas Residuales de una curtiembre en el Cantón Cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos). In : *Tesis*. 2017. p. 1-80.

NARANJO, Yarmari, 2016. Diseño de una depuradora de agua residual urbana-EDAR. In : [en ligne]. 2016. p. 30. Disponible à l'adresse : <http://www.emasesa.com/wp-content/uploads/2014/09/Profesor-Tablada-2014.pdf>.

NTE INEN 1203:2013, Norma Técnica Ecuatoriana, 2013. Agua. Demanda Química De Oxígeno (DQO). In : [

PEÑA, J. MIFIC, 2012. UNIDAD IV : Procesos No Alimentarios Contenidos : Objetivos : In : . 2012. p. 1-17.

PORRAS, Álvaro Chávez, 2010. Descripción De La Nocividad Del Cromo Proveniente De La Industria Curtiembre Y De Las Posibles Formas De Removerlo Description of Chrome Toxicity From the Tannery Industry and Possible Ways of Removing It. In : *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 2010. Vol. 9228, n° 17, p. 41-50. DOI 1692-3324.

RA, PaGuia, CONTROL, E L et LA, Y Prevencion D E, 1998. Contaminacion Industrial. In : *Control*. 1998.

RAMOS, Ruht Maicas, 2012. La artesanía del cuero y de la piel en las comarcas de navalcarnero y san martin de valdeiglesias. In : . 2012.

RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ-ALBA PEDRO LETÓN GARCÍA ROBERTO ROSAL GARCÍA MIRIAM DORADO VALIÑO SUSANA VILLAR FERNÁNDEZ JUANA SANZ GARCÍA, Antonio M et EMPRESARIAL MADRID -CEOE, Confederación DE, 2012. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. In : *Editorial Dykinson, S.L.* 2012. Vol. 2, p. 182. DOI 8490311471.

CARPIO, Gustavo Coy y Marta Duque, 2007. Turbiedad por Nefelometría. In : [en ligne]. 2007. p. 9. Disponible à l'adresse : <https://1.facebook.com/1.php?u=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fdocuments%2F14691>

%2F38155%2FTurbiedad%2Bpor%2BNefelometr%25C3%25ADa..pdf%2Ffc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc&h=ATPugfH30aHD8TCvWG8oVpMdAz9XG--hG6dfI\_hmdhWdbo6xK6\_SBTAFQSh3twA\_mqnKcLTNxPf1Ic.

TENORIO, Diana, 2009. Diseño para la automatización del proceso de bombos de curtiembre para la empresa curtilan S.A. In : . 2009.

VILLA, Veronica, 2016. Curtición de pieles de conejo con la utilización de diferentes niveles de curtiente vegetal mimosa para la obtención del cuero para encuadernación. In : *IOSR Journal of Economics and Finance* [en ligne]. 2016. Vol. 3, n° 1, p. 56. DOI <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>. Disponible à l'adresse : [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT\\_Globalization\\_Report\\_2018.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/MT_Globalization_Report_2018.pdf)[http://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India\\_globalisation%2C\\_society\\_and\\_inequalities%28Isero%29.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India_globalisation%2C_society_and_inequalities%28Isero%29.pdf)<https://www.quora.com/What-is-the>.

ZAPATA, Lincon, [sans date]. Manual Práctico de Curtido Natural de Cueros y Producción de Artesanías. In : [en ligne]. p. 28. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004. Disponible à l'adresse : <http://www.faanagua.org/biblioteca/manualArtesaniasLZapata.pdf>.

*ANEXO A: Empresa Cristo del Consuelo*

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

**CATEGORÍA DEL DIAGRAMA**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Empresa "Cristo del Consuelo"

a) Bombo 1 capacidad: 1000  
pieles

**CERTIFICADO POR ELIMINAR  
APROBADO POR APROBAR  
POR CALIFICAR INFORMACIÓN**

**CRISTINA JOANA LÓPEZ  
SANTANDER**

**LAMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

b) Bombo 2 capacidad: 500 pieles

1.

1:1

2019/07/01

c) Tanque de lavado

d) Pieles que salen del bombo

**ANEXO B: Infraestructura Empresa**

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

**CATEGORÍA DEL DIAGRAMA**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO**

Empresa "Cristo del Consuelo"

a) Estiramiento de pieles,  
engrase.

**CERTIFICADO POR ELIMINAR  
APROBADO POR APROBAR  
POR CALIFICAR INFORMACIÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**LAMINA**

**ESCALA**

**FECHA**

b) Bodega reactivos químicos

**CRISTINA JOANA LÓPEZ  
SANTANDER**

2.

1:1

2019/07/01

c) Taller de costura

d) Acabado de pieles

**ANEXO C: Planta de Tratamiento**

a)



b)



c)



d)



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>CRISTINA JOANA LÓPEZ</b>  <b>SANTANDER</b>	Empresa "Cristo del Consuelo"		
a) Tanques circulares	<b>CERTIFICADO</b>		<b>LAMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
b) Tanques rectangulares	<b>APROBADO</b>	<b>POR ELIMINAR</b>	3.	1:1	2019/07/01
c) Sistema de rejillas	<b>POR APROBAR</b>	<b>APROBADO</b>			
d) Tanque de reposo de pieles	<b><u>POR CALIFICAR</u></b>	<b>INFORMACIÓN</b>			

**ANEXO D: Tratamiento agua de Pelambre**

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

**CATEGORÍA DEL DIAGRAMA**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO**

Laboratorio Calidad del agua

- a) Cono Minh off
- b) Resultados cono
- c) Aireación con compresor
- d) Luego de la aireación

**CERTIFICADO POR ELIMINAR  
APROBADO POR APROBAR  
POR CALIFICAR INFORMACIÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

LAMINA	ESCALA	FECHA
4.	1:1	2019/07/01

**CRISTINA JOANA LÓPEZ  
SANTANDER**

ANEXO E: Jar test

a)



b)



c)



d)



NOTAS

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA

Laboratorio Calidad del agua

DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

CRISTINA JOANA LÓPEZ

SANTANDER

LAMINA

ESCALA

FECHA

- a) Tipos de coagulante
- b) Coagulante  $Al_2(SO_4)_3$  en diferentes concentraciones
- c) Luego de reposar: turbiedad
- d) Realizar DQO a la muestra tratada

**CERTIFICADO POR ELIMINAR**  
**APROBADO POR APROBAR**  
**POR CALIFICAR INFORMACIÓN**

5.

1:1

2019/07/01

ANEXO F: Tratamiento agua de Curtido

a)



b)



c)



d)



NOTAS

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA

Laboratorio Calidad del agua

DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

LAMINA

ESCALA

FECHA

- a) Cono Minh off
- b) Tipo de coagulante
- c) Elegir el coagulante
- d) Después de 3 horas se observa la turbidez de cada muestra

**CERTIFICADO POR ELIMINAR**  
**APROBADO POR APROBAR**  
**POR CALIFICAR INFORMACIÓN**

**CRISTINA JOANA LÓPEZ**  
**SANTANDER**

6.

1:1

2019/07/01

**ANEXO G: Equipos para realizar tratamiento**

a)



b)



c)



d)



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>CRISTINA JOANA LÓPEZ</b> <b>SANTANDER</b>	Laboratorio de Calidad del agua					
a) Balanza analítica b) Materiales para DBO y DQO c) Materiales para realizar titulación d) Picnómetro	<b>CERTIFICADO POR ELIMINAR</b> <b>APROBADO POR APROBAR</b> <b><u>POR CALIFICAR</u> INFORMACIÓN</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>LAMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">7.</td> <td align="center">1:1</td> <td align="center">2019/07/01</td> </tr> </tbody> </table>	LAMINA	ESCALA	FECHA	7.	1:1
LAMINA	ESCALA	FECHA						
7.	1:1	2019/07/01						

