

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES

Autor

Ilbay Caguana Jhonatan Iván

Tutor

Ing. José Prato Moreno

Riobamba-Ecuador

2021

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES.

Presentado por: Jhonatan Iván Ilbay Caguana

Dirigido por: PhD. José Prato

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. José Gregorio Prato Moreno

Director del Proyecto



Firma

Dra. Carmen Omaira Márquez Pereira

Miembro del Tribunal



Firma

Dra. Julia Guadalupe Calahorrano
González

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, elaborado por el señor Ilbay Caguana Jhonatan Iván con el tema: “ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES”, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.



PhD. José Prato

C.I:175870684-8

Tutor del Proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Ilbay Caguana Jhonatan Iván con cédula de identidad No. 060432585-2; hago referencia como autor del presente trabajo de investigación, titulado: “ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DEL CURTIDO DE PIELES”, dirigida por el tutor del proyecto, PhD. José Gregorio Prato Moreno

Manifiesto mi responsabilidad y la originalidad en la conceptualización de ideas, interpretación de resultados y sustento de autores que han sido debidamente referenciados en la presente investigación.



.....
Ilbay Caguana Jhonatan Ivan

C.I: 060432585-2

DEDICATORIA

Mi trabajo de investigación tesis la dedico especialmente para toda mi familia quienes fueron el pilar fundamental para seguir adelante en mis estudios.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicar mi trabajo a mi querida madre, Rosa Caguana y a mi padre Luis Ilbay quienes con un gran esfuerzo y esmero y trabajo muy duro lograron darme todo el apoyo que necesitaba para cumplir una de mis metas en la vida.

Jhonatan Iván Ilbay Caguana

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios al permitirme realizar esta investigación, ya cual me ha permitido llegar a la fase de mi vida donde pude brindarme conocimientos y sabiduría para poder realizar esta investigación.

Agradezco a mi familia, especialmente a mi madre Rosa Caguana, la cual me apoyo en todo momento de mi estudio en la carrera, y por ser un ejemplo y esfuerzo, de lucha en la vida diaria y salir adelante, por enseñarme que la vida hay que esforzarnos para llegar al éxito.

Jhonatan Iván Ilbay Caguana

También se agradece a los diferentes docentes que me apoyaron y compartieron sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, para salir adelante día a día. Así tan bien agradezco al ing. José Prato por apoyarme en el transcurso de la elaboración de mi trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL	ii
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA	iii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice general.....	vii
Lista de Tablas	x
Lista de Figuras.....	xi
Resumen.....	xii
ABSTRACT	xiii
introducción.....	1
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Qué es el agua	5
2.2 Agua residual o residuos líquidos	5
2.3 Residuos sólidos.....	6
2.4 Emisiones atmosféricas.....	6
2.5 Control de contaminación	6
2.6 Tratamiento de aguas residuales	7
2.7 Importancia del tratamiento de aguas residuales	7
2.8 Proceso de tratamiento de aguas residuales	8
2.9 Proceso de tratamiento de aguas residuales	9
2.9.1 Tratamiento preliminar	9
2.9.2 Tratamiento primario	9

2.9.3	Cribado.....	10
2.9.4	Trampas de grasas	10
2.9.5	Flotación.....	10
2.9.6	Coagulación - Floculación	11
2.9.7	Sedimentación preliminar	11
2.9.8	Tratamiento secundario.....	11
2.9.9	El proceso de aireación	12
2.9.10	Sedimentación secundaria.....	13
2.9.11	Desinfección.....	13
2.9.12	Tratamiento de lodos.....	13
2.10	Criterios para la selección y diseño de las unidades de tratamiento	13
2.11	Curtido de pieles	15
2.12	Procesos de curtición	15
2.13	Impacto de las industrias curtiembres	17
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	18
3.1	Metodología	18
3.2	Tipo de estudio:.....	18
3.2.1	Tipo y Diseño de Investigación	18
3.3	Población.....	18
3.4	Muestra.....	19
3.5	Descripción del desarrollo metodológico de la investigación	19
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1	Descripción de los tipos de procesos productivos y su generación de aguas residuales de la industria del curtido de pieles en Ecuador.....	22
4.1.1	Características de la curtiembre en Ecuador	22
4.1.2	Explicación del proceso de curtido de pieles animales en Ecuador.....	23
4.1.3.1	Subproceso de ribera	24
4.1.3.2	Subproceso de piquelado	24
4.1.3.3	Subproceso de desengrase	24
4.1.3.4	Subproceso de curtido	25
4.1.3.4.1	Subproceso de curtido en base a sales de cromo.....	26
4.1.3.4.2	Subproceso de curtido con agentes vegetales	27
4.1.3.5	Subproceso de tintura y engrase	28

4.1.3.6	Subproceso de secado	29
4.1.3.7	Subproceso de acabado.....	29
4.2	Generación de aguas residuales de la industria del curtido de pieles en Ecuador	30
4.3	Sustancias químicas utilizadas en cada subproceso y su impacto con en el ambiente y la salud humana	35
4.4	Sistema de tratamiento de aguas residuales derivadas del proceso de curtido de pieles	37
4.4.1	Pre-tratamiento.....	39
4.4.2	Tratamiento primario	41
4.4.3	Tratamiento secundario.....	42
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
5.1	Conclusiones	45
5.2	Recomendaciones.....	46
	Bibliografía	47
	Anexo 1.....	55
	Anexo 2.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores a tener en cuenta en la evaluación y elección de operaciones y procesos	14
Tabla 2. Procesos de curtición	16
Tabla 3. Operaciones del subproceso de ribera	25
Tabla 4. Operaciones del subproceso de curtido en base a sales de cromo	27
Tabla 5. Operaciones del subproceso de curtido en base a sales de cromo	28
Tabla 6. Sustancias químicas utilizadas en cada subproceso y el impacto ambiental	36
Tabla 7. Características promedio de aguas residuales de los procesos productivos de una industria de curtido de pieles	37
Tabla 8. Composición promedio de las aguas residuales de un proceso de curtido de pieles	38
Tabla 9. Balance de remoción del pretratamiento	41
Tabla 10. Balance de remoción del sedimentador	42
Tabla 11. Balance de remoción del sistema de lodos activados	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Operaciones para el tratamiento de las aguas residuales.....	7
Figura 2. Proceso de tratamiento de aguas residuales	8
Figura 3. Diagrama general del sistema de Tratamiento de aguas residuales.	9
Figura 4. Fases del proceso investigativo	20
Figura 5. Principales provincias de curtido de cuero en el Ecuador.....	22
Figura 6. Diagrama del curtido al cromo	26
Figura 7. Diagrama del curtido vegetal	28
Figura 8. Organizador gráfico de la generación de aguas residuales provenientes de los subprocesos del curtido de pieles animales	32
Figura 9. Esquema propuesto del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	39
Figura 10. Diagrama general del proceso de curtido de pieles animales.....	56
Figura 11. Diagrama de procesos de curtido y acabado del cuero	57
Figura 12. Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	57
Figura 13. Separación de efluentes en las etapas de pretratamiento.....	58

RESUMEN

Es considerado curtido al proceso de transformación de la piel de los animales (bovino, porcino y ovino) en un producto terminado que es el cuero, la actividad económica genera oportunidades de trabajo como también dinamiza la economía del país, a nivel nacional el proceso de curtido de la piel es posible mediante dos métodos, el uso de sales de cromo y de agentes vegetales, de los cuales se derivan aguas residuales que contienen componentes químicos tóxicos con alto contenido de carga biológica, y por lo tanto, es importante proveer un adecuado sistema de tratamiento. El objetivo de esta investigación fue estudiar los procesos productivos de la industria del curtido de la piel que se aplican en el Ecuador y determinar cuál sería el sistema de tratamiento básico más adecuado para este sector, según las características promedio de los efluentes generados. Para lo cual, se realizó una investigación de tipo bibliográfico apoyada en bases de datos científicas, que permitieron estimar los niveles de contaminación de las aguas residuales de las curtiembres nacionales y de esta manera proponer un sistema de depuración basado en etapas primarias y secundarias de tratamiento que se comprobó su eficacia con la aplicación de balances de rendimientos teóricos. El procedimiento expuesto muestra que toda tenería puede aplicar tratamientos acordes a sus procesos productivos y sus residuales, siendo muy importante en este tipo de efluentes mantener un control del pretratamiento, y aplicarlo por separado a las dos líneas principales de producción que es curtido y el pelambre.

Palabras claves: aguas residuales, curtiembre, planta de tratamiento, investigación bibliográfica.

ABSTRACT

Tanning is the process of transforming the skin of animals (bovine, pig, and sheep) into a finished product known as leather. Tanning as an economic activity generates job opportunities as well as boosts the economy of the country. At the national level, the process of leather tanning results out of two methods. The use of chromium salts and vegetable agents, from which wastewater containing toxic chemical components with a high content of bioburden is derived, and therefore, it is crucial to provide an adequate treatment system. This research aimed to study the productive processes of the leather tanning industry that are applied in Ecuador and determine which would be the most suitable basic treatment system for this sector, according to the average characteristics of the generated effluents. To achieve the aim of this study, bibliographic research was carried out supported by scientific databases, which allowed estimating the levels of contamination of the wastewater of the national tanneries and proposing a purification system based on primary and secondary treatment stages. Effectiveness was verified with the application of theoretical performance balances. The exposed procedure shows that all tanneries can apply treatments according to their production processes and their residuals. It is essential in this type of effluents to maintain control of the pre-treatment and use it separately to the two main production lines: tanning and peeling.

Key words: sewage, tannery, treatment plant, bibliographic research.

Reviewed by: MsC. Adriana Cundar Ruano, Ph.D.

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 1709258534

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador las curtiembres son consideradas una de las principales industrias de mayor influencia en el desarrollo económico, debido a que esta actividad genera empleos y progresos económicos, al mismo tiempo, es también es considerada como una de las actividades (Fernández Lescano, 2015).

La industria de las curtiembres son las industriales de mayor impacto hacia el ambiente, debido a que la transformación de las pieles de los animales a cuero, es un proceso en el cual se aplican insumos químicos, y a su vez existe el consumo de grandes volúmenes de agua produciendo efluentes con altas cargas contaminantes mayores importadoras de materia prima de cuero a nivel nacional, la mayoría de estas empresas dedicadas a la industria del cuero, se encuentran en la zona urbana del cantón Ambato, pertenecientes a la Provincia de Tungurahua, las mismas que generan una economía muy importante para le región debido a las industrias de cutido de piel (Contreras, y otros, 2009).

Además, es importante tener en cuenta que la mayoría de las empresas de curtiembre nacionales se caracterizan por emplear sistemas artesanales de curtición a través de sales de cromo o agentes vegetales, sin un adecuado tratamiento de residuales y disposición de los desechos producidos.

Por lo tanto, las aguas residuales que se generan en este sector industrial deben ser adecuadamente tratadas empleando sistemas de depuración que integren tratamientos primarios y secundarios, de manera de poder cumplir con las normativas nacionales en cuanto a la calidad del agua residual, evitando de esta manera que se creen problemas ambientales y sociales asociados a producción de cueros a nivel nacional.

En el presente estudio se analizarán bibliográficamente los diferentes sistemas de producción de cueros aplicados a nivel nacional, de manera de comparar y evaluar los tipos de contaminantes que predominan en los residuales generados y proponer de forma teórica un sistema de tratamiento de aguas residuales acorde a las características de la industria del curtido de pieles ecuatoriana.

1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los desequilibrios ambientales y los constantes problemas de contaminación ambiental han perjudicado notoriamente a nuestro planeta, generados por actividades realizadas por el hombre y de origen natural, que han coadyuvado a su deterioro, trayendo consigo una serie de consecuencias de origen muy diverso dependiendo de las características propias del contaminante y su efecto en el ecosistema (Camacho., 2013).

Las empresas de curtiembres se encargan de transformar las pieles frescas de animales sacrificados, en cueros no biodegradables, que son útiles como materia prima de otras industrias como: marroquinería, tapicería, e industrias del calzado, entre otros, y dedicadas a la elaboración de productos de uso cotidiano. En la industrialización del cuero se aplican múltiples operaciones unitarias donde se somete la piel para transformarla en un producto, que sirva para vestir y calzar (García & Ramírez, 2019), siendo actualmente uno de los procesos industriales más importantes del país, y generando una gran cantidad de desechos líquidos y sólidos que contienen sustancias químicas que son tóxicas para el medio ambiente (Méndez Pampín et al., 2007), por lo tanto, sus efluentes deben ser tratados adecuadamente antes verterlos en ríos, quebradas y alcantarillados.

En Ecuador el sector económico de las tenerías se caracteriza por un gran número de pequeñas y medianas empresas dedicadas al curtido de pieles ubicadas principalmente en la provincia de Tungurahua (cantón Ambato), y que en su mayoría no cuentan con sistemas de tratamiento completos que permitan de manera adecuada depurar los residuales y minimizar sus impactos ambientales, especialmente lo relacionado con la contaminación de las aguas residuales (Masabanda et al., 2017).

Desde siempre el agua ha sido una de las preocupaciones más grandes de los fabricantes, teniendo en cuenta que el agua es un elemento indispensable para realizar el curtido del cuero, debido a en este proceso se utilizan grandes cantidades de agua (por cada metro cubico de piel se necesitan de 3 metros cúbicos de agua), además de productos químicos orgánicos e inorgánicos que producen los residuos del cuero trabajado (Camacho, 2013), los cuales son desembocados al medio ambiente sin un tratamiento

adecuado, afectando de manera negativa la vida del ecosistema acuático y por consiguiente, la salud pública.

De no tomarse en cuenta esta situación, las aguas residuales generadas en las tenerías seguirán afectando el medio ambiente. Es por ello, que en la presente investigación se plantea estudiar de forma documental los procesos industriales de curtición aplicados en el país, de manera de tener una visión de los niveles de contaminantes que son generados en promedio por este sector industrial nacional y proponer un sistema teórico de tratamiento para los efluentes de una curtiembre, que permita la adecuada depuración del agua según el tipo de proceso que se realiza para el curtido del cuero.

1.2 Justificación

En el Ecuador existe una gran variedad de empresas dedicadas a la actividad económica de la curtiembre, de las cuales alrededor del 60 % cuentan con perisología ambiental (Masabanda et al., 2017), las cuales provocan una contaminación al medio ambiente, puesto que, no todas las industrias cuentan con un adecuado tratamiento de los desechos generados, radica la importancia de establecer un análisis del sistema de tratamiento de aguas residuales, las alternativas de tratamiento contribuirán el control y la prevención de la contaminación del medio ambiente.

Las descargas de las aguas residuales sin tratar o con un proceso de tratamiento incompleto en los cursos de aguas residuales, unido a los problemas sociales, sanitarios y económicos generados en los alrededores de este tipo de organización, son algunos de los efectos o consecuencias generadas por las actividades desarrolladas en las empresas de tenerías a nivel nacional (Aguirre, 2014), que en el primero de los casos los químicos, son los compuestos utilizados en el proceso de curtición de las pieles y sus altos valores en las aguas residuales hacen que cuando sean vertidas en ríos o quebradas, imposibiliten o dificulten su uso como aguas de consumo humano y generen graves desequilibrios ambientales, salvo que se hayan realizado diversas acciones que permitan su depuración o potabilización lo cual generalmente resulta costoso.

La presente investigación, se basa en la importancia de las aguas residuales industriales para el medio ambiente, puesto que al no aplicar un control y manejo adecuado de productos químicos afecta al ecosistema. Además, la zona andina ecuatoriana, presenta varias industrias de cuero, las cuales en la actualidad no poseen un tratamiento adecuado de efluentes, siendo imprescindible contar con métodos que permitan a éstas empresas nacionales, cumplir con las exigencias establecidas en la normativa, por lo tanto, la propuesta de un sistema teórico de tratamiento adaptado a los procesos aplicados de curtido vegetal y con base a sales de cromo, es fundamental para mostrar que toda empresa de curtiembre nacional (artesanal o mediana) pueden aplicar sistemas de depuración acordes a sus tipos de procesos productivos y sus efluentes generados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar diversos procesos de curtiembre nacionales y proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales aplicados a la industria del curtido de pieles acorde las características de las aguas residuales generadas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir los tipos de procesos productivos y su generación de aguas residuales de la industria del curtido de pieles en Ecuador.
- Plantear un sistema de tratamiento teórico de aguas residuales generadas según las características de los efluentes de industrias nacionales de curtido de pieles.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Qué es el agua

Según (García Sánchez, Godínez Alarcón, Pineda Avonza, & Reyes Añorve, 2015), la irregular distribución del agua, su mala calidad ocasionada por la contaminación y la progresiva demanda de los distintos usos, son características que restringen la disponibilidad de los recursos hídricos y, con frecuencia, surge conflictos en su asignación de los diversos usos.

En este sentido, el agua es uno de los recursos esenciales para el funcionamiento de industrias y como es en el caso del presente estudio las empresas curtiembre ya que el proceso de producción requiere de abundante agua, puesto que la limpieza, retiro y eliminación de lana, bacterias y demás impurezas que se encuentran sumergidas en la piel, requieren del líquido vital, a fin que el cuero tenga la calidad, textura y color requerida. Así también, el proceso de producción genera residuos líquidos y sólidos que no son tratados y son vertidos en quebradas, ríos o en alcantarillados, de este modo contamina el medio ambiente.

Cabe recalcar, que la adecuada gestión del agua, así como de los ecosistemas hídricos, exigen prestar atención el costo económico que el líquido vital requiere tanto para la extracción, potabilización, el almacenamiento como para la distribución del agua y lo más importante la eficiencia en el uso del mismo (Guillén & Arza, 2016).

2.2 Agua residual o residuos líquidos

Las aguas residuales, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. También se denominan vertidos. Se trata de aguas con un alto contenido en sustancias contaminantes, que a su vez van a impurificar aquellos sistemas en los que son evacuadas. Estas aguas se pueden descontaminar por medio de tecnologías de tratamiento de bajo, medio y alto perfil según sea el caso, y de acuerdo al nivel de descontaminación lograda se puede pensar en el reúso de este recurso (Chuqui & Sánchez, 2018).

Por lo tanto, según (Canchingre-Bone, Mosquera-Quintero, & Morales-Pérez, 2016) mencionan que el proceso de curtición, requiere del tratamiento adecuado de sus efluentes antes de ser vertidos en los acuíferos o alcantarillados, a fin de contribuir con la defensa del medio ambiente, además de un conjunto de actividades dirigidas a la prevención de los residuos, permite reutilizar, reciclar favoreciendo la gestión ambiental industrial.

2.3 Residuos sólidos

Los residuos sólidos constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y por lo general por sí solos carecen de valor económico (Rivas C. , 2018) este sentido, representa el material desechado en el proceso de producción del cuero, para lo cual, es necesario identificar la clase de residuo sólido, ya que puede resultar peligroso, origen del residuo, así como la composición de los residuos sólidos. De acuerdo a (Sáez & Urdaneta, 2014), los desechos no pueden ser reutilizados o reciclados, sin haber sido debidamente clasificados y dispuestos, por lo tanto, se requiere de actividades funcionales u operativas relacionadas con la manipulación de los residuos sólidos.

2.4 Emisiones atmosféricas

El (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico., 2020), menciona que en todo proceso existe la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, procedentes tanto de fuentes naturales como antropogénicas inciden en la salud de las personas, en la degradación de materiales, en los seres vivos y en el funcionamiento de los ecosistemas. Consecuentemente, los residuos generados en el proceso de curtiembre, puede ocasionar grandes impactos en el medio ambiente ya que las sustancias químicas que son utilizadas en el proceso de producción, contienen contaminantes peligrosos y la acumulación de los mismos puede generar emisiones gaseosas.

2.5 Control de contaminación

En vista de la cantidad de residuos que genera la industria curtiembre y los impactos que la misma genera, el tratamiento es inevitable, del mismo modo, para la

implementación de un plan de tratamiento de los desechos generados, debe ser aplicado desde el primer paso de la transformación de la piel, es decir, que los residuos no sean mezclados entre sólidos y líquidos, mediante una división en la salida de los desechos en recipientes diferentes facilitara el tratamiento, además de los costos y gastos operativos.

Sin embargo, según la versión de (Salamanca, Kintz, & Muñoz., 2018), antes de implementar cualquier tipo de tratamiento es importante depurar las opciones necesarias de valorización de residuos, que permitan contar con el control de dichos residuos, así como la contaminación del medio ambiente.

2.6 Tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamientos son un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen físico, químico y biológico o combinación de ellos como lo presenta la Figura 1, que se basan en fenómenos de transportes y manejos de fluidos para lograr la depuración de las aguas (Márquez, 2016). Es decir, abarca las acciones técnicas generando fases de tratamiento a fin de cumplir con los requerimientos de la normativa legal, como también aporta a la protección del medio ambiente.



Operaciones unitarias físicas: operaciones que no involucra reacción química.
Operaciones o procesos químicos: operaciones en el que origina reacciones químicas.
Operaciones o procesos biológicos: operaciones que involucran reacciones biológicas y bioquímicas.

Figura 1. Operaciones para el tratamiento de las aguas residuales

Fuente: (Márquez, 2016)

2.7 Importancia del tratamiento de aguas residuales

Las pantas de tratamiento son fundamentales porque contribuyen a limpiar el agua que contaminamos, lo que genera la destrucción de la calidad de los acuíferos (ríos, las quebradas, lagunas, la importancia radica en la posibilidad de devolver el agua a nuestras

fuentes naturales o cuerpos de agua, sin que este represente un peligro para los seres vivos y el medio ambiente, es decir, devuelve vida de los seres vivos y de su entorno, protege el medio ambiente y la salud de las personas.

2.8 Proceso de tratamiento de aguas residuales

La Figura 2 representa los pasos para el tratamiento de las aguas residuales, en que inicia con la deyección de sólidos a través de procesos llamados pretratamiento y tratamiento primario, seguido de la reducción de la materia orgánica y otros contaminantes. Con respecto a los residuos sólidos, generalmente están comprendidos como trapos, arena, madera, así como partículas pequeñas que se encuentran en el agua residual.

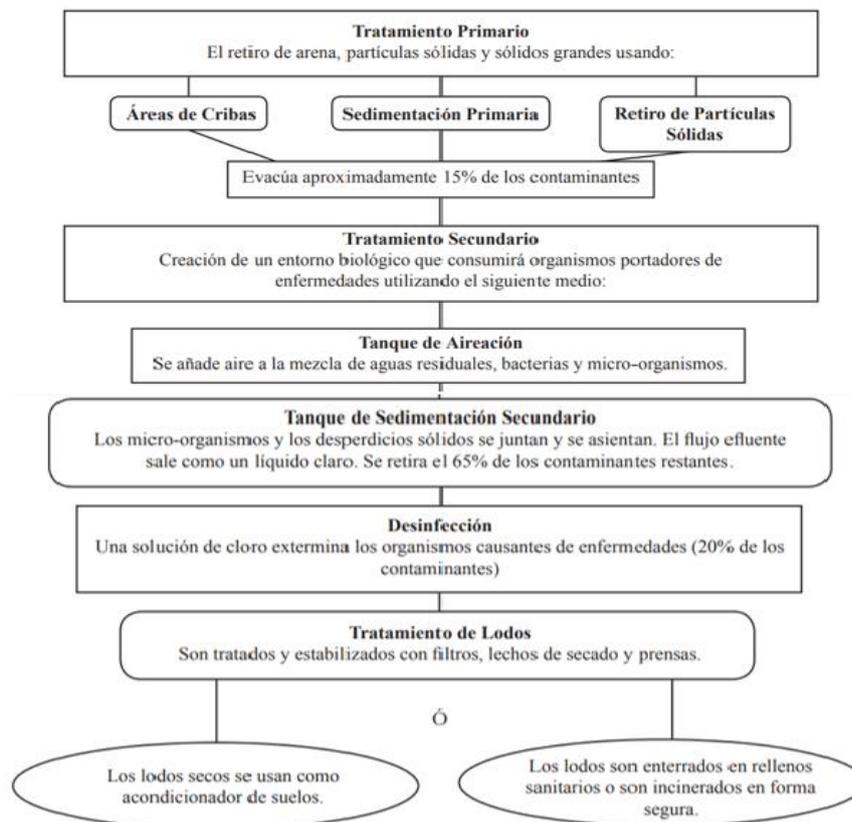


Figura 2. Proceso de tratamiento de aguas residuales

Fuente: (Troconis, 2010).

Así mismo, la reducción de la materia orgánica y de los contaminantes, es posible mediante la inserción de bactericidas y otros microorganismos, con el cual consume la

materia orgánica en el agua residual para luego ser retirados del agua (tratamiento secundario).

Finalmente, se debe llevar a cabo la desinfección del agua tratada, especialmente si su disposición final es un acuífero, o se desea reutilizar en actividades dentro de la industria. También es importante tener una disposición y tratamiento de los lodos generados durante las etapas de depuración de las aguas.

2.9 Proceso de tratamiento de aguas residuales

2.9.1 Tratamiento preliminar

Consiste en las medidas necesarias en la preparación de las aguas residuales, para el inicio de la depuración, con el objetivo de la remoción de sólidos y arenas de manera que se protejan los equipos que forman parte del sistema posterior de tratamiento y las redes de flujo, así como mejorar el aspecto estético de las aguas. Esta etapa puede incluir diferentes procesos, generalmente, de tipo físico, y varían según la planta que se tenga industrialmente, según (Castañeda Villanueva & Flores López, 2013), el tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos conlleva un proceso de pre-aireación.

2.9.2 Tratamiento primario

Está referido a operaciones físicas y químicas unitarias (Figura 3) destinadas a la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, así como también el acondicionamiento del agua para el tratamiento posterior, es decir, tratamiento biológico.

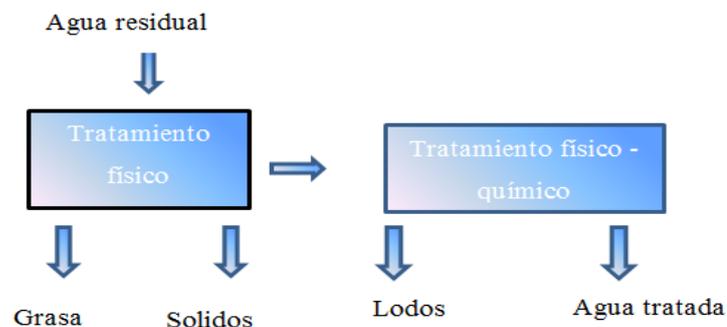


Figura 3. Diagrama general del sistema de Tratamiento de aguas residuales.

Fuente: (Chávez-Vera., 2017)

2.9.3 Cribado

De acuerdo a Arias (2014), esta etapa consiste en la eliminación y separación de impurezas como plásticos, grapas, arena, retirados a través de ranuras y orificios de clasificación, este proceso es auxiliado por sistemas mecánicos y físicos, a fin de obtener el rechazo. Además, Chulluncuy (2011), en este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua (ramas, plásticos, maderas, piedras, etc.) por medio de rejillas, en la que estos materiales quedan retenidos.

2.9.4 Trampas de grasas

Las trampas de grasa son pre tratamientos de aguas residuales generalmente utilizados en empresas donde la producción de grasa es alta. Las mismas son utilizadas para la prevención de obstrucciones de tuberías debido a la acumulación de grasas o aceites, mas no deben ser utilizados como sistemas de tratamiento de aguas residuales ni esperar que estos cumplan con la función de una planta de depuración.

Estos equipos permiten la eliminación de aproximadamente el 20 % de aporte de DBO₅ y DQO, lo cual no siempre es tomado en cuenta al momento de diseño de sistemas de depuración (Romero, 2016).

2.9.5 Flotación

Según Arias (2014), la flotación es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas y sólidas de baja densidad de una fase líquida, mediante burbujas finas de un gas generalmente aire.

En los procesos de flotación, el agua afluyente es presurizada a presiones de 2 a 4 atm., en presencia de aire, y luego despresurizada a presión atmosférica en el tanque de flotación. La separación efectiva de los líquidos y sólidos del residuo, así como la concentración de los sólidos separados, depende de la generación suficiente de burbujas de aire por unidad de sólidos, El tanque de flotación se diseña con base en la carga hidráulica superficial o en la carga superficial de sólidos (Romero, 2016).

2.9.6 Coagulación - Floculación

Según (Arboleda, 2000) “se llama coagulación/ floculación al proceso por el cual las partículas coloidales se juntan en pequeños agregados con peso específico superior al del agua llamadas floc o flóculos”; la coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los agentes coagulantes al agua y su duración es solamente fracciones de segundo, básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre el reactivo, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma; por su parte la floculación se puede definir como el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas colisionan unas con otras para formar coágulos de mayor tamaño”.

Los reactivos principales para la aplicación de este tratamiento son la solución de sulfato de aluminio, el cloruro y sulfato férrico (sales polivalentes). La concentración empleada dependerá de las características del agua a tratar, es importante tener en cuenta el pH del agua al emplearse coagulantes. También es de común uso compuestos poliméricos o cal como ayudantes o floculantes (Metcalf & Eddy, 2000).

2.9.7 Sedimentación preliminar

Según (Rivas W. A., 2012), la sedimentación consiste en la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de la gravedad, cabe recalcar que este proceso está ligado en función a la densidad del líquido, el tamaño, el peso específico y la morfología de las partículas. Por tanto, esta operación será más eficaz dependiendo el tamaño y la densidad de las partículas a separarse del agua.

2.9.8 Tratamiento secundario

García (2018), manifiesta que es un proceso biológico que permite eliminar materias orgánicas que existen en las aguas residuales, basado en desempeño de algunas bacterias y microorganismos con una eficiencia de un 90 %. Es decir, comprende la digestión aerobia o anaerobia de los compuestos orgánicos que lleva el agua a compuestos inorgánicos.

Al emplearse un proceso de tipo aerobio el contenido es trasladado al sistema de bombeo de aclaradores o clarificadores en donde, los lodos y la biomasa queda en el fondo

del agua que casi ya no dispone de residuos orgánicos, pero si tiene muchos iones como nitrato y fosfato del resultado de la reacción aerobias, pasa al tratamiento terciario. Los lodos del fondo de decantadores secundarios son recirculados al proceso de digestores en donde mediante gestiones anaerobias se produce biometano que son llevados a generadores denominado hornos de combustión a fin de generar electricidad.

De acuerdo a lo expuesto por Portada (2016), el tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO₂ y otras sustancias, mismo que produce gas metano que es separado y quemado como una fuente de energía.

2.9.9 El proceso de aireación

Considerado el corazón del proceso tratamiento de aguas residuales que se basa en la purificación, mediante el contacto íntimo con el aire en el efluente que se quiere tratar, es decir es un método para la purificación del agua (Córdova, Vargas, Cesare, Flores, & Visitación, 2014). Durante este proceso el oxígeno convierte a los compuestos ferrosos y manganosos disueltos en hidróxidos férricos y mangánicos insolubles, mismos que son removidos por filtración y sedimentación.

Este proceso requiere de sistemas aireadores especiales que están encargados a transferir gases en líquidos (Penagos, Esquivel, Luque, & Cepeda., 2018). La aireación del agua es importante a fin de proporcionar oxígeno al efluente que se desea tratar, además remueve metano sulfuro y otros compuestos orgánicos volátiles que son responsables del olor y sabor en el agua, también es fundamental su implementación en los digestores aerobios dentro del reactor biológico. En los últimos años se empleando esta etapa como un afino final de aguas, para proporcionar el contenido de oxígeno disuelto al agua después de la depuración.

Este proceso incluye difusores de burbuja fina y de burbuja gruesa. En los difusores de burbuja fina se integra filtros de aire, además el rendimiento de transferencia de oxígeno de estos es relativamente elevado y su velocidad de elevación es menor. Mientras que los difusores de burbuja gruesa no requieren filtros de aire lo cual exige menos gastos de mantenimiento y menos potencia de los compresores.

2.9.10 Sedimentación secundaria

Herrera (2015), reporta que la sedimentación secundaria es la separación de los sólidos, de los lodos activados que se encuentran en el licor mezclado, para producir sólidos concentrados como flujo de retorno requerido para mantener el equilibrio de concentración dentro del tratamiento biológico. Entre los tipos de tanque a utilizarse en la sedimentación secundaria se encuentran los rectangulares o cilindros. (Arias-Lizárraga & Méndez-Gómez, 2014).

2.9.11 Desinfección

El proceso de desinfección es la última etapa del tratamiento de aguas, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos. Lo que significa que no todos los organismos patógenos son eliminados en este proceso, por lo que requieren procesos previos como la coagulación, sedimentación y filtración para su eliminación (Chulluncuy, 2011). Es decir, el agua tratada y clarificada proveniente del sedimentador es conducida a un sistema de cloración en donde las bacterias patógenas son destruidas celularmente.

2.9.12 Tratamiento de lodos

Debe señalarse que (Crites & Tchobanoglous, 2000) consideran como objetivos principales del tratamiento de lodos, eliminar parcial o totalmente el contenido de humedad con el fin de disminuir el volumen de sólidos a ser manejados y transformar los sólidos putrescibles en sales inorgánicas o sólidos relativamente estables para su reutilización o vertido final. Para el afino final de los lodos generados en la depuración de las aguas se pueden incluir los procesos de espesamiento, estabilización, acondicionamiento, deshidratación y evacuación, entre otros.

2.10 Criterios para la selección y diseño de las unidades de tratamiento

La elección de los métodos y procesos de tratamiento dependerán de los constituyentes presentes en el agua residual, así como del grado o porcentaje de remoción, es decir, se debe seleccionar la combinación más adecuada a fin de transformar las

características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normas de vertimiento y reutilización del agua tratada.

Los factores determinantes en la selección del sistema de tratamiento lo constituyen la naturaleza del agua a tratar y de los requerimientos de uso o disposición final (Tabla 1).

Tabla 1. Factores a tener en cuenta en la evaluación y elección de operaciones y procesos

Factor	Comentario
Aplicabilidad	El proceso debe ser capaz de proveer el rendimiento solicitado y se evalúa con base a experiencias previas, registros de operación a escala real, datos publicados.
Caudal de agua a tratar	Los procesos deben de estar capacitados para soportar el caudal esperado de operación.
Variaciones de caudales	Los procesos y unidades de tratamiento son diseñados para operar bajo intervalos amplios de caudal, en el caso de variaciones muy amplias se requiere de un tanque homogeneizador.
Características del agua residual	Esta determina los procesos de tratamiento, así como también los requisitos operación, es decir, reflejan la necesidad de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento físico o químico, entre otros.
Desempeño	Se mide en términos de eficiencia de remoción de los contaminantes o de la calidad del agua tratada.
Procesamiento y producción de lodos	La cantidad y calidad del lodo determina la complejidad del tratamiento requerido para su disposición adecuada.
Condiciones químicas	La cantidad de insumos que deben disponerse para garantizar el funcionamiento adecuado de la planta a largo plazo si se requiere.
Consideraciones de personal	Se estima la cantidad de operarios que se necesita y el nivel de conocimiento requerido.
Consideraciones de operación y mantenimiento	Prever las condiciones de operación y mantenimiento, así como los repuestos o partes que se puedan necesitar.
Confiabilidad	El proceso debe ser lo más confiable posible, es decir, que las condiciones óptimas sean difíciles de alterar.
Factibilidad	El proceso debe ser compatible para las condiciones de existentes de dinero, cumplir con los requerimientos exigidos, así como ser aceptado por el cliente o dueño.
Disponibilidad de terreno	Se debe prever que se cuente con el espacio suficiente para la instalación de las unidades.

Fuente: Tchobanoglous y Crites (2000) y Romero (2016) adaptado por Ilbay

Para el diseño de una planta de tratamiento, Romero (2016), sugiere tener presente 5 etapas principales las cuales son:

- Caracterización de agua residual a tratar y definición de las normas de vertimiento.

- Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo selección del proceso, comparación de costos y los parámetros de diseño.
- Diseño de la alternativa seleccionada (menor costo).
- Construcción.
- Operación y mantenimiento.

2.11 Curtido de pieles

El proceso de transformación del cuero es el conjunto de operaciones físicas – químicas que convierte a la piel cruda, en un material durable e imputrescible, llamado cuero, utilizando para ello, productos químicos y agua (Escribano, 2013). En este sentido, dependiendo de las clases de pieles, ya sea de bovinos, ovinos u porcinos, se requiere de un tratamiento diferente y en cada uno de estos procesos generan desechos líquidos que deben tener un tratamiento adecuado, de igual manera existe dentro del proceso la utilización de sustancias químicas que contaminan el medio ambiente (Escudero, 2016).

2.12 Procesos de curtición

Las industrias de curtido se encargan de procesar pieles (principalmente de ganado vacuno) convirtiéndolas en cuero, que posteriormente es utilizado para la fabricación de calzado, tapicería, vestimenta y marroquinería, la industria del cuero tiene relevancia en la actividad económica del país y principalmente en la provincia de Tungurahua. Se estima que existen en Ecuador 80 curtiembres entre grandes, medianas, pequeñas y artesanales, y otras 60 empresas proveedoras de materia prima y químicos asociadas al sector, beneficiando así a miles de familias de manera directa e indirectamente (Zurita, 2018).

La preparación de las pieles inicia curándolas con sal. Esto se realiza salando en exceso las pieles y prensándolas en bultos durante aproximadamente 30 días, o bien empleando una salmuera, mediante agitación durante cerca de 16 horas, dependerá de cada tipo de piel y de la industria. Las pieles se limpian luego en agua para eliminar la sal y en una solución de cal para ablandar el pelo. Dependiendo del uso que vaya a darse al cuero, las pieles pueden tratarse con enzimas para ablandarlas.

Los procesos de curtición pueden ser realizados con métodos vegetales o minerales. Antes del curtido las pieles se limpian de pelos, grasa y sal y se remojan en agua por un periodo de 6 horas a 2 días. Para prevenir el daño de las pieles por crecimiento bacteriano durante este periodo, se usan biocidas. En la Tabla 2 se muestran los principales métodos empleados en el tratamiento de las pieles.

Tabla 2. Procesos de curtición

Técnica	Descripción
Curtido al aceite	Proceso que consiste en el uso de aceites de pescado, de animales marinos, o sintéticos, sobre pieles adecuadamente preparadas. Estos aceites se someten después a oxidación u otros cambios químicos, resultando una combinación química de los derivados del aceite con la piel.
Curtido al aldehído	Curtidos obtenidos tratando descames de pieles ovinas o pieles ovinas desfloradas, con aldehídos.
Curtido al alumbre	Consiste en el empleo de una mezcla cuyo principal ingrediente activo es una sal de aluminio. El color natural del curtido, es blanco.
Curtido al azufre	Metodología que incorpora azufre y sus compuestos a la piel, por tratamiento ácido y sulfato de sodio.
Curtido combinado	Piel tratada con dos o más agentes curtientes
Curtido al cromo	En este proceso las pieles son sometidas a la acción de diferentes agentes químicos que interactúan con las fibras del colágeno para obtener un cuero estable y durable (Proceso ampliamente usado). En los equipos, la acción del cromo, convierte a la piel en cuero, un material estable, impidiendo su degradación. Después de la curtición al cromo, el cuero se escurre, rebaja y divide mecánicamente para obtener el "wet blue", un producto cuyo nombre se debe al color azul verde del sulfato de cromo. Los cueros sin cromo, por su color claro, se llaman "wet white".
Curtido a la grasa	Proceso donde se realiza la incorporación a la piel de grasas blandas de origen animal, las cuales producen la fijación de materias grasas al experimentar modificaciones químicas en contacto con las fibras.
Curtido mineral	Piel o cuero que ha sido curtido con sales minerales, tales como las de aluminio, hierro, cromo y circonio.
Curtido a la sílice	Se emplean compuestos silíceos que se caracterizan por su color blanco y la plenitud de la curtición de las pieles. Normalmente tienen escasa resistencia al desgarre y a la tracción.
Curtido vegetal	Es uno de los procesos más empleado, consiste en el uso de taninos. Este compuesto se produce naturalmente en la corteza de algunos árboles, siendo los más usados en la actualidad los de castaño, roble, tanoak, pinabete, quebracho, manglar, zarzo y cerezo. Las pieles estiran sobre marcos y se sumergen durante varias semanas en cubas con concentraciones crecientes de tanino. La piel curtida vegetalmente es flexible y se usa para maletas y muebles.

Fuente: Ibay (2021) adaptado de Rojas (2017)

2.13 Impacto de las industrias curtiembres

Los efectos ambientales que las industrias curtiembres generan son muy importantes, debido a la cantidad y características de los residuos líquidos y sólidos que son generados en el proceso de curtido de la piel. Debido a que la mayoría de las empresas curtiembre usan como ingrediente principal el cromo y demás sustancias tóxicas es necesario definir un plan de tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas, ya que es importante otorgar el correcto y adecuado tratamiento de aguas residuales, lo cual es un factor fundamental en la toma de conciencia con el medio el medio ambiente por parte de este sector económico.

La industria de curtido de pieles utiliza una gran cantidad de recursos naturales, se considera que se utilizan aproximadamente 300 kg de químicos por tonelada de piel y se producen de 30 a 35 litros de aguas residuales por kilogramo de piel procesada (Valdés, 2012).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Metodología

El marco metodológico es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar a fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizara el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema estudiado (Azüero, 2018). Consecuentemente, mediante la aplicabilidad de la metodología de investigación es posible descubrir supuestos problemáticos basado en fuentes teóricas que sustentan interrogantes llegando a acertadas interpretaciones con resultados basado en la información adquirida.

3.2 Tipo de estudio:

3.2.1 Tipo y Diseño de Investigación

La investigación bibliográfica no experimental consiste en realizar revisiones bibliográficas del tema de estudio y analizar y contrastar resultados (Arguedas, 2010).

Esta investigación es de tipo bibliográfico, puesto que se requirió hacer un estudio detallado de la literatura, artículos científicos, páginas de internet, tesis de grado, revistas, entre otros, y así tener el aporte base para el conocimiento sobre las tipologías principales de los variedades de curtiembres en Ecuador, de manera de tener una visión general de la realidad y poder plantear de forma teórica un sistema de depuración, acorde a las características promedio de los efluentes generados por estas empresas a nivel nacional.

3.3 Población

La población estuvo conformada por el conjunto de información bibliográfica cuyas propiedades de estudio se fundamentó en el sistema de tratamiento de aguas residuales derivadas del curtido de pieles de los animales, contenido sustraído de fuentes bibliográficas de como Redalyc, Scopus, Dialnet, Scielo, Dspace, Jstor, Science Direct,

Google scholar, Doaj, página web, etc., comprendidas principalmente entre los periodos de 2010 a 2021, lo que permite establecer el análisis de la información, a partir del cual se pudo proponer un sistema de tratamiento y conclusiones sobre el tema investigado.

3.4 Muestra

La muestra es un subconjunto de la población, por tanto, la muestra consistió en revisar 71 fuentes bibliográficas de carácter científico, además, se delimitó como zona de estudio el curtido de piel animal en el Ecuador y el sistema de tratamiento de aguas residuales en las cuales incluye: Scopus - Science Direct 10 aportes, Scielo 8 artículos, Dialnet 10 artículos, Google scholar 5 artículos, Dspace y repositorio 10 Tesis de pregrado y 2 Tesis de postgrado, Jstor 10 artículos, Redalyc 16 artículos.

3.5 Descripción del desarrollo metodológico de la investigación

En la presente investigación se dio a conocer el sistema de tratamiento de aguas residuales derivadas del curtido de pieles, con él que se evidenció el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos, desarrollados en tres fases como se indica en la Figura 4.

FASE 1: En esta etapa de la investigación se realizó la búsqueda de las bases teóricas del proceso de curtido de pieles, sus características principales, la peculiaridad del mismo en Ecuador, y los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicados a la industria del curtido de pieles, para ello, se cumplió con un arqueo documental de los tipos de procesos de curtiembre aplicados en el país, y la respectiva generación de aguas residuales, mediante la consulta de fuentes secundarias de empresas del sector, artículos científicos de bases como Scopus, Scielo, Google academic, Redalyc, etc., es importante aclarar, que dependiendo de las características del procesado de pieles, se emplean diversos compuestos químicos o naturales, del cual derivan aguas residuales industriales, dicha información sirvió como línea base para el desarrollo del sistema de tratamiento propuesto.

Fase 1	Levantamiento de información como línea base para la investigación.	Recopilar información de diversas fuentes bibliográficas como artículos científicos, tesis de grado, fuentes documentales de empresas del sector, proyectos de investigación con relación al tema, entre otros.
Fase 2	Comparación de información obtenida de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicados a la industria de curtido de pieles.	<p>Comparación de los procesos productivos.</p> <p>Aplicar esquemas resumen o flujogramas.</p> <p>Destacar las diferencias y similitudes en cada tipo de tecnología.</p> <p>Aplicar en tablas y figuras la información correspondiente.</p> <p>Resaltar la importancia y efectos de los contaminantes presentes en aguas de descargas.</p>
Fase 3	Análizar los diferentes sistemas de depuración de aguas residuales.	<p>Aplicar balances teóricos de rendimiento en función de cada tipo de operación unitaria.</p> <p>Comparar los resultados de los balances con las normativas nacionales en cuanto a los vertidos industriales.</p> <p>Realizar una descripción y comparación de los equipos de las plantas de tratamiento destacando la importancia para el tipo de efluente que es procesado.</p>

Figura 4. Fases del proceso investigativo
Fuente: Ilbay, (2021)

FASE 2: En esta etapa se ejecutó un análisis de la información secundaria disponible y del levantamiento de información recopilada anteriormente. Para ello, se llevó a cabo en primer lugar la determinación de los procesos productivos del curtido de piel, de manera que permitió plantear un flujograma a fin de facilitar la descripción. En segundo lugar, se ordenó la información correspondiente a las características de los efluentes derivadas del proceso de curtido de pieles animales, de manera de conocer las características de los

efluentes según las diversas etapas aplicadas, y poder contar con un nivel promedio de contaminantes en estos tipos de residuales.

FASE 3: Finalmente, se determinó la información paso a paso sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales de fuentes bibliográficas que permitió analizar la importancia y la rentabilidad que provee el tratamiento de aguas residuales. Así mismo, se plantearon balances teóricos de eficiencia según rangos expuestos en las referencias especializadas consultadas y se comprobó que el sistema propuesto para el tratamiento del agua residual promedio permite cumplir con los límites establecidos en las normativas nacionales para los efluentes industriales.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de los tipos de procesos productivos y su generación de aguas residuales de la industria del curtido de pieles en Ecuador

4.1.1 Características de la curtiembre en Ecuador

Cabe recalcar que el proceso de curtiembre consiste en producir a partir de las pieles de animales un producto terminado que es el cuero, generalmente, el proceso de transformación de la piel en cuero requiere de subprocesos como ribera, curtido y acabado. En Ecuador por lo general, el subproceso de curtido es realizado en base a sales de cromo o con agentes naturales dependiendo de la calidad de cuero que desee obtener.

A nivel nacional existen alrededor de 80 empresas dedicadas al sector económico de curtiembre, con diferentes dimensiones, que se encuentran distribuidas principalmente en las provincias del centro del país (Figura 5).

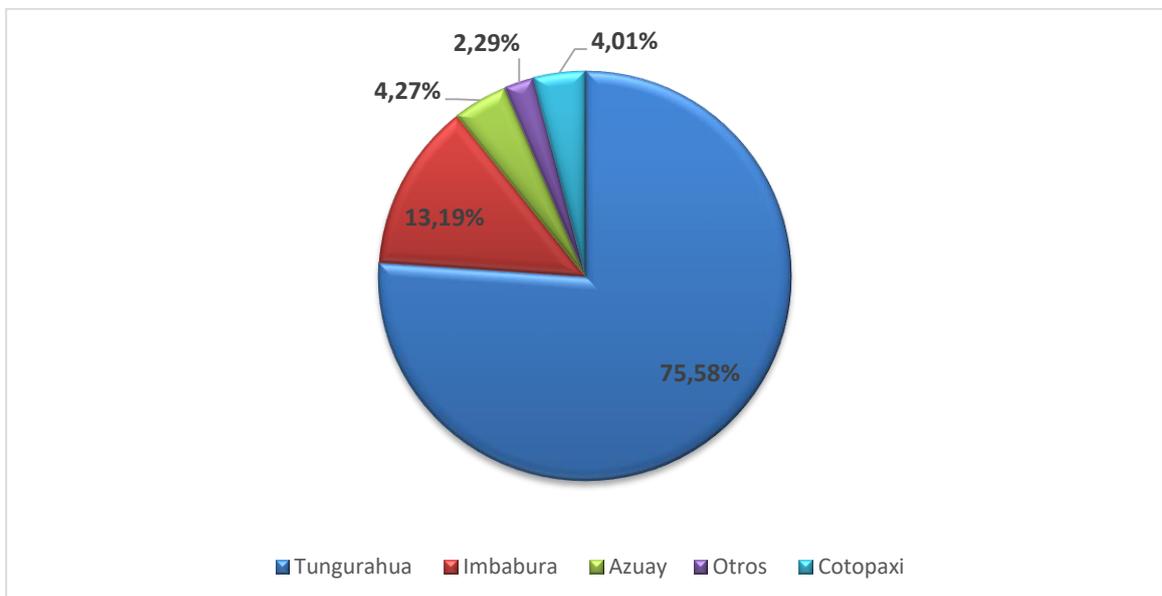


Figura 5. Principales provincias de curtido de cuero en el Ecuador

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Vásquez & Hidalgo, 2014)

Como se observa en la Figura 5, la región con mayor acogida en la producción de cuero, es la sierra ecuatoriana, siendo la provincia de Tungurahua que presenta la mayor producción con un 75,58 %, en segundo lugar, se encuentra la provincia de Imbabura

donde se localizan el 13,19 % de curtiembres, mientras que, en las provincias de Azuay, Cotopaxi entre otras, solo cuentan entre 2 al 4 % de curtidurías a nivel nacional.

Estudios realizados en la provincia de Tungurahua indican que el proceso es desarrollado de en tres tipos de empresas grandes (industrializadas), medianas y artesanales, siendo los últimos los procesos que más se aplican con un 81 % (Masabanda, Echegaray, Delgado, & Echegaray, 2017), por lo tanto, estos datos indican que la mayoría de las curtiembres en Ecuador son empresas pequeñas.

A pesar que en este sector industrial predominan los procesos artesanales, el 92,16 % de las compañías realizan tratamientos a sus residuos, caracterizándose por la aplicación de solo realiza un tratamiento de tipo primario (97,87 %), lo cual no es adecuado, debido a que la normativa nacional recomienda la instauración de proceso primarios y secundarios (Masabanda et al., 2017).

4.1.2 Explicación del proceso de curtido de pieles animales en Ecuador

Las operaciones del proceso de curtido pueden ser muy variadas de una curtiembre a otra, depende de la materia prima procesada, así como del tipo y características de los productos finales que se elaboran. En Ecuador los subprocesos más utilizados para el curtido de la piel son a base a sales de cromo (70 %) o con agentes vegetales.

El proceso de curtido de cuero, tanto con sales de cromo como con agentes vegetales, están compuestos por diversos procesos, y sus esquemas industriales pueden complejos como los mostrados en las Figuras del Anexo 1, en estos procesos se cumplen como etapas principales las siguientes:

- Recepción de la materia prima.
- Pre-tratamiento.
- Curado y desinfectado.
- Pelambre.
- Desencalado
- Descarnado.
- Desengrasado
- Piquelado.
- Curtido (al cromo y con agentes vegetales)

- Secado.
- Engrasado.

A continuación, se van a explicar los diferentes subprocesos generalmente aplicados para el curtido de pieles animales en Ecuador.

4.1.3.1 Subproceso de ribera

Este subproceso enfoca principalmente en la eliminación del pelo, denominado ribera por nuestros ancestros, puesto que las pieles eran lavadas y limpiadas en los ríos hasta lograr y acondicionar el adecuado grado de hinchazón y humedad de las pieles, de manera que facilite la absorción de agentes químicos. Esta etapa del curtido presenta el mayor consumo de agua, por ende, el efluente presenta un elevado pH, además de agentes químicos como sulfuro de sodio y cal que desprende el pelo de la piel. Cabe recalcar, que el subproceso de ribera abarca operaciones necesarias para clasificar, limpiar y acondicionar la piel para el siguiente proceso que es el piquelado. En este sentido, la Tabla 3 muestra las operaciones del subproceso de ribera.

4.1.3.2 Subproceso de piquelado

Consiste en la preparación y el acondicionamiento de la piel para el subproceso de curtido mediante la integración de una sal neutra (sulfato sódico o cloruro) y agentes químicos como ácidos (fórmicos, sulfúrico, clorhídrico) que hacen posible reducir el pH de la piel, eliminando de esta manera los álcalis de la piel. Mediante esta operación se facilita el curtido o para almacenajes largos (Lescano & Tapia, 2015).

4.1.3.3 Subproceso de desengrase

Esta operación se enfoca en la eliminación del exceso de grasa de la piel con detergentes, desengrasantes tensoactivos o disolventes alifáticos, aromáticos o enzimas lipolíticas dependiendo de las características de la piel. Posteriormente la misma es sumergida en soluciones integrada de agentes químicos logrando obtener homogeneidad, tesura, y mayor elasticidad en la superficie de la piel. Sin embargo, esta operación genera residuos líquidos contenido de materia orgánica, detergentes, y solventes (Rojas, 2017).

Tabla 3. Operaciones del subproceso de ribera

Operación	Explicación
Recepción de la materia prima	Consiste en la clasificación y análisis de la piel cruda y la colocación de salmuera para su conservación, en este proceso genera agua residual del escurrido por la humedad de la piel.
Remojo	Refiere a la rehidratación y la limpieza de la piel cruda pasando por un baño con agua integrada de humectantes, bactericida y detergente, a la vez, generando agua residual, residuos sólidos y envases vacíos de productos químicos usados.
Resudado	Consiste en la putrefacción controlada, depura la grasa y la carnaza con la ayuda de máquinas especiales que permite eliminar tejidos subcutáneos y adiposos que están sumergidos en la piel. Este proceso genera residuos sólidos húmedos propios del proceso de descarnado y aguas residuales.
Pelambre	Consta en la eliminación de la totalidad de pelo y la epidermis, por el cual es sumergiendo en un baño contenido de sulfuro de sodio y cal, logrando separar las fibras de colágeno de la piel. De la misma manera, los residuos generados es agua residual y envases vacíos de los productos químicos.
Depilado	Refiere a un depilado mecánico del pelo o lana que no ha sido eliminado tras el pelambre
Lavado	Consiste en la limpieza de impurezas y residuos químicos con abundante agua.
Descarnado	Cosiste en el recorte de la cola, cuello, partes de la piel que pueda enredarse en la máquina, de manera que la limpieza mecánica logre eliminar el tejido subcutáneo y adiposo.
Dividido	Consiste en definir el espesor de la piel, para lo cual la piel pasa por una máquina que la divide en dos partes la baqueta (parte superior de la piel y la más fina) y la carnaza (parte inferior es reciclado en otras artes).
Desencalado	Consta en la eliminación de la cal y la carnaza por medio de la neutralización, un aumento de temperatura, los efectos de los agentes químicos y abundante agua que hace posible el correcto desencalante.
Rendido o purga	Este apartado permite el aflojamiento y una ligera peptización de la fibra de colágeno, tratando la piel con enzimas proteolíticas. Posteriormente pasa al respectivo lavado con abundante agua fría, termina esta operación la piel esta lista para el subproceso de piquelado.

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Rojas, 2017).

4.1.3.4 Subproceso de curtido

Consiste en añadir un producto curtiente a la piel, para que este penetre, hasta lograr bloquear agentes químicos tóxicos y ligarse al coloide proteico, permitiendo la conservación de la piel con textura suave y de calibre delgado. Sin embargo, esta operación requiere de abundante cantidad de agua, además, de sales de cromo o su vez agentes vegetales.

El proceso de curtido: tiene por objeto producir un material resistente a los efectos de la descomposición de tipo físico o biológico, se puede realizar de dos formas según el producto que se espere obtener esta las operaciones del curtido en base a sales de cromo y operaciones de curtido con agentes vegetales (Camacho., 2013).

4.1.3.4.1 Subproceso de curtido en base a sales de cromo

Consta en la utilización de sales de cromo, ingrediente trivalente que coadyuva a que el producto obtenga estabilidad y resistencia. El proceso de curtido a base de sales de cromo, es un método más utilizado, pero el más contaminante por el efecto tóxico del mismo. Este método permite estabilizar el colágeno de la piel mediante agentes curtientes (minerales) transformando la piel en cuero (Fuck, 2011; Herdoíza, 2016). A continuación, la Figura 6 muestra el diagrama de curtido al cromo y la descarga de las aguas residuales contenido de sustancias químicas.

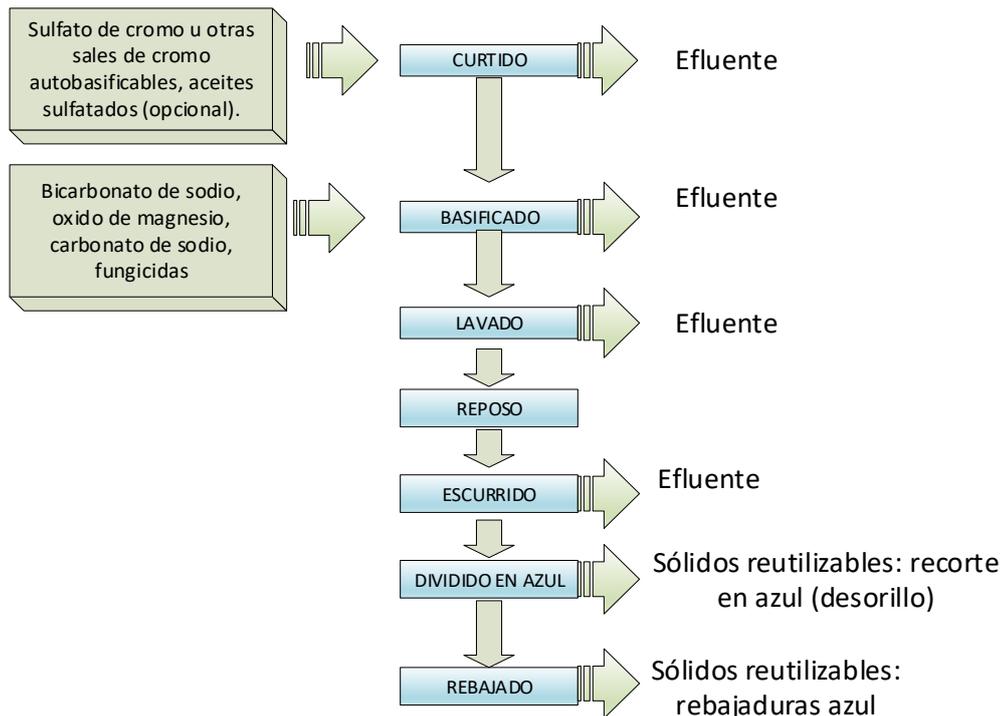


Figura 6. Diagrama del curtido al cromo

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2006)

El curtido al cromo depende de las características de la piel piquelada operación realizada antes del curtido, la alcalinidad de las disoluciones de cromo, la concentración, la cantidad de los reactivos químicos, la integración de sales neutras y temperatura

(Emmer & Del Campo, 2014). la Figura 6 resalta, que el subproceso de curtido en base a sales de cromo abarca operaciones requirentes para conseguir la estabilidad del colágeno de la piel, a continuación, la Tabla 4, describe las operaciones del subproceso de curtido en base a sales de cromo.

Tabla 4. Operaciones del subproceso de curtido en base a sales de cromo

Operación	Explicación
Curtido	Consta en integrar solución acida, sulfato básico de cromo, de manera que penetre a la piel y permita que cada ingrediente reaccione y de la estabilidad requerida para la piel. Posteriormente se integra las sales alcalinas con el objetivo de incrementar el pH de la solución además facilita la reacción del cromo trivalente.
Basificado	Operación que integra sales alcalinas que incrementa el pH
Lavado y embancado	Operación necesaria que permite eliminar las sales. El cuero almacenado queda en reposo de manera que continúe reaccionado las sustancias químicas.
Ecurrido	Espacio donde se exprime toda la cantidad de agua sumergida en la piel.
Raspado o dividido en azul	Consiste en equilibrar el espesor del cuero, separando la flor de la carnaza.
Neutralizado	La operación de neutralizado procede mediante la utilización de sales alcalinas, con una medida estándar que no sobre pase al pH de 7, a fin de eliminar el ácido sulfúrico residual de la piel, posteriormente se realiza un lavado final de manera que elimina toda la sal neutra contenida en la piel.

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Medina & Derpic, 2017).

4.1.3.4.2 Subproceso de curtido con agentes vegetales

El curtido vegetal genera un acabado de alta calidad realizado de manera artesanal, terminados de color apagado, suave y flexible, de acuerdo al producto que desee elaborar (Ortiz & Carmona, 2014). El presente subproceso utiliza sustancias como taninos vegetales obtenidas de cortezas y frutos de árboles en forma de polvo como muestra la Figura 7, en este paso el cuero toma firmeza fácil para teñir a mano, aunque su proceso tarda de una a dos semanas realizando el acabado.

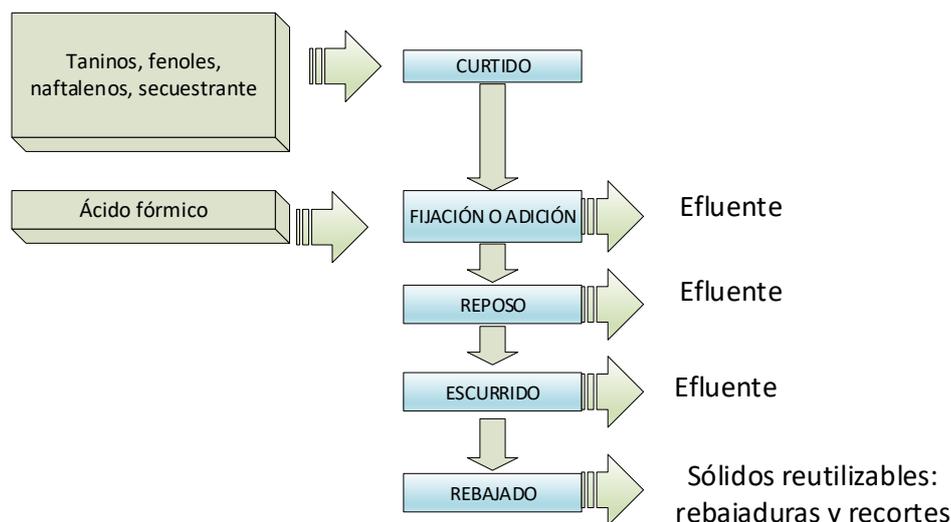


Figura 7. Diagrama del curtido vegetal

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2006)

A continuación, la Tabla 5, describe las operaciones del subproceso del curtido con agentes vegetales identificadas en la Figura 7.

Tabla 5. Operaciones del subproceso de curtido en base a sales de cromo

Operación	Explicación
Curtido	Operación en él se integra taninos naturales (en forma de polvo) a la solución del piquelado.
Fijación o acidificación	Acción que acidifica la solución con el uso de ácido fórmico. El pH del contenido de la solución varía entre 1,8 y 5,5.
Embancado	Consiste en dejar que repose la piel de manera que continúe actuando la solución.
Escurrido	Acción donde la piel es enviada a la máquina de exprimido.

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Medina & Derpic, 2017).

4.1.3.5 Subproceso de tintura y engrase

Refleja el color del cuero tanto interno como externo, dependiendo la clase de curtido es agregado el colorante. La piel curtida en base a sales de cromo exige colorantes aniónicos de tipo azoico, mientras que la piel curtida con agentes vegetales exige colorantes básicos o catiónicos puesto que retiene sustancias aniónicas.

Con respecto al engrasado, facilita la lubricación de las fibras con aceites especiales, derivados de aniónicos, el degrás, anfóteros de las grasas o catiónicos, estas

sustancias químicas bloquean grupos hidrófilos lubricando y suavizando las fibras de colágeno, de tal manera evita la aglomeración por rehumidificación y secado sucesivo lo que origina la pérdida de calidad del cuero (Ministerio del Ambiente, 2013).

4.1.3.6 Subproceso de secado

Existe diversas técnicas de secado de la piel depende de la industria y la calidad de cuero que se espera obtener. En este apartado, inicialmente es escurrido el agua por medio de una maquina hidráulica hasta que pierda gran cantidad de agua, posteriormente la piel es colocada en barras que pasa por túneles o cámaras estáticas que desplazan la piel que vierten aire caliente por convención forzada, siguiente, pasa a los bombos secadores contenidas de calor de bajas temperaturas. Después es pulido y esmerilado eliminando imperfecciones de la piel, con la ayuda de rodillos cubiertos de liga y caucho, y finalmente el cuero el colgado en ganchos de manera que el secado garantice un excelente acabado del mismo.

Otra técnica consiste en el secado al vacío en bombos hasta lograr un ablandamiento adicional como resultado del secado mecánico. Cabe resaltar que el cuero es vendido por pies cuadrados por lo que es importante el secado y el adecuado ablandamiento evitando a que se encoja y genere características únicas del cuero (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2013).

4.1.3.7 Subproceso de acabado

Esta operación alcanza la elasticidad, suavidad y llenura del cuero, mediante acciones y tratamientos mecánicos especiales que dotan de las características requeridas para el buen acabado del cuero. Entre las acciones desarrolladas se encuentran (Mejía, 2013):

- Recortado de partes defectuosas
- Ablandamiento mecánico
- Estiramiento final de la piel
- Eliminación de la humedad residual
- Eliminación de las zonas de grosor irregular por pulido

- Afelpamiento de lado de la flor
- Teñido especial
- Medida y clasificación

4.2 Generación de aguas residuales de la industria del curtido de pieles en Ecuador

Los procesos de curtiembres producen una gran cantidad de residuos, tanto sólidos como efluentes líquidos, que deben tenerse en cuenta y saber manejarse a nivel industrial, para garantizar una adecuada gerencia ambiental del proceso productivo.

La generación de residuos sólidos en las industrias curtiembres comienza desde la limpieza de la piel cruda, puesto que, al emplearse diversas sustancias químicas mezcladas con agua, en cada uno de los subprocesos, retiran el pelo, a fin de obtener el cuero en perfectas condiciones para su posterior uso, generando el primer flujo de efluentes contaminados con carga orgánica y química. Además, en cada uno de los subprocesos antes descritos, se observa que cada etapa del sistema de producción de productos acabados de este tipo de industria va aportando otros contaminantes químicos y orgánicos, que sus concentración y características dependerán de la forma como se desarrolla cada etapa, por lo tanto, los efluentes de las tenerías presentan cargas variables, pero de gran nivel contaminante.

La mayoría de industrias curtiembres, requieren de un adecuado análisis técnico sobre el tratamiento de aguas residuales, puesto que el proceso de producción necesita de abundante cantidad de agua a fin de obtener el producto terminado de calidad (Rodríguez, García, & Pardo, 2015). Este proceso usa altas cantidades de sustancias químicas tóxicas para el debido depurado y tratado de la piel.

El proceso de curtido consiste en convertir las pieles (cuero) de los animales ya sea de bovino, porcino, ovino, el producto final es utilizado para la elaboración de zapatos, prendas de vestir, entre otros, para lo cual, este producto debe resaltar calidad, flexibilidad, resistencia óptima para el siguiente proceso. Cabe recalcar que, identificar el

contenido de las aguas residuales provenientes de los subprocesos del curtido de pieles animales permite analizar el adecuado sistema de tratamiento de las aguas residuales.

En la Figura 8 se presenta un esquema resumido de la generación de las aguas residuales derivadas del proceso del curtido de pieles animales, tomando en cuenta los diversos subprocesos que se aplican en este tipo de industria a nivel nacional, a continuación, se realiza una descripción de este diagrama:

Recepción de la piel: la sustancia química utilizada, es la sal muera misma que es colocada en la piel para la conservación de la piel, en este apartado genera aguas residuales contenida sal, microorganismos, la humedad de la piel y las pieles rechazadas.

Remojo: la piel es sumergida en gran cantidad de agua contenida de humectantes, bactericida y detergente para la limpieza e hidratación de la piel lo que genera aguas residuales contenida de sangre, estiércol, barro, sal, detergente, tierra, sólidos suspendidos y sales disueltas, etc., además de envases vacíos de productos químicos usados (Haro, 2010).

Apelambrado o resudado: los recursos que intervienen en este apartado es el agua, salmuera, energía eléctrica y sustancias químicas que ayudan a la putrefacción controlada, depuración de la grasa y la carnaza, generando residuos líquidos con sulfuro de sodio, óxido de calcio, residuos sólidos pelos, materia orgánica putrescible, cal, sólidos sedimentables, grasas, sales disueltas, alcalinidad proteínas, alto DBO, sulfuro, además de envases vacíos de químicos utilizados (Martínez, 2015).

Lavado de Pelambre: para la eliminación total del pelo y la epidermis, la piel es sumergida en el agua contenida de sulfuro de sodio y cal, operación que genera residuos líquidos contenidos de sulfuro de sodio, óxido de calcio, agua contenida de materia orgánica, sales disueltas, alcalinidad y envases vacíos de sustancias químicas (Martínez, 2015).

Descarnado: esta operación requiere de agua y energía eléctrica puesto que realiza la limpieza mecánica a fin de eliminar el tejido subcutáneo y adiposo, del cual genera residuo sólido, tejido subcutáneo y adiposo, aproximadamente 20 % del peso inicial, resto del musculo y nervio (sobrante de la piel), grasa, etc.

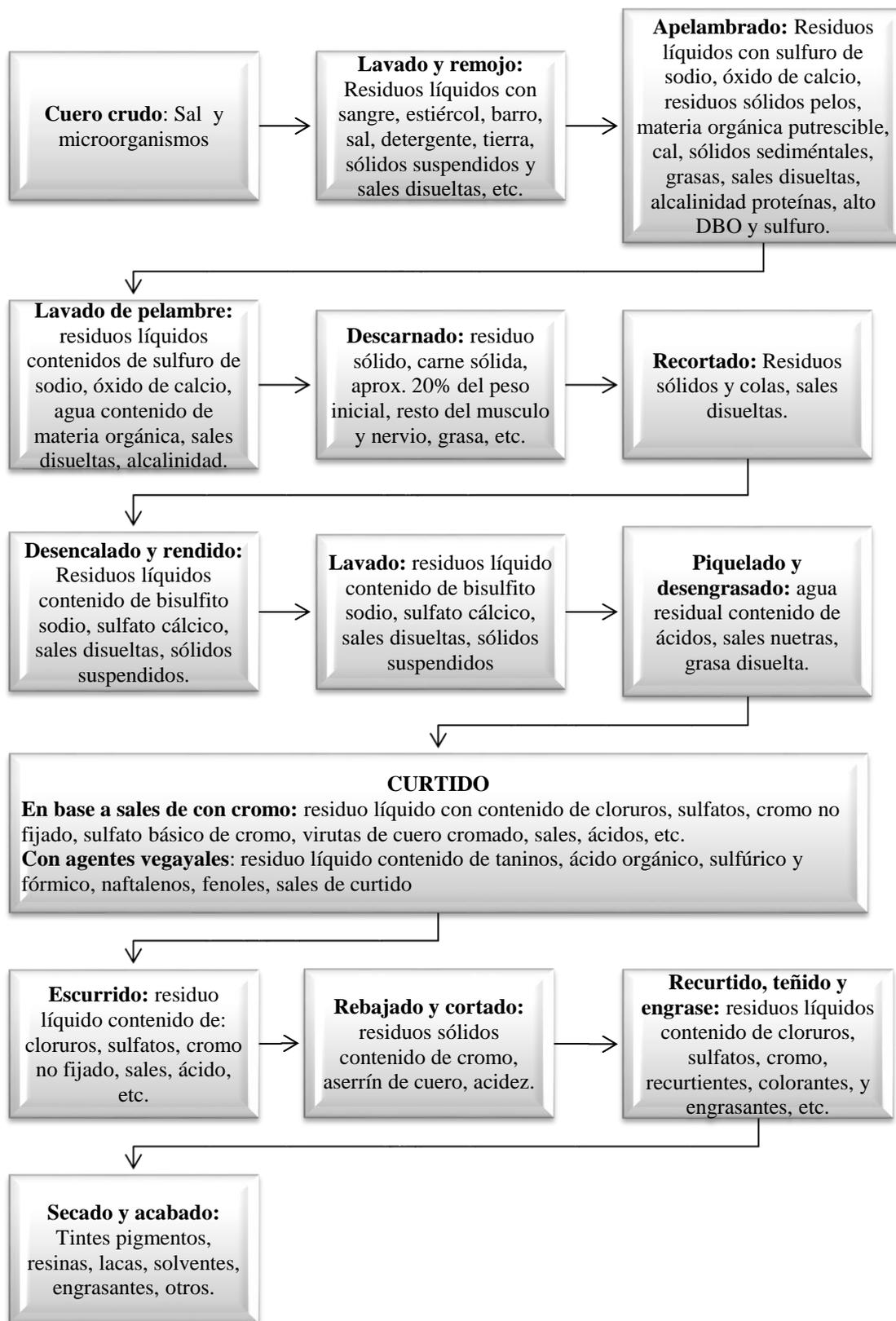


Figura 8. Organizador gráfico de la generación de aguas residuales provenientes de los subprocesos del curtido de pieles animales

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Curicama, 2011)

Recortado: a fin de eliminar partes del cuero que están con desperfecto y partes que no están aptos para el curtido, de esta operación genera residuos sólidos y colas, sales disueltas.

Desencalado y rendido: recursos utilizados es abundante agua, agentes químicos y energía eléctrica, que ayude a eliminar la cal y la carnaza, también dar el adecuado aflojamiento y una ligera peptización de la fibra de colágeno, esta operación genera residuos líquidos con contenido de bisulfito sodio, sulfato cálcico, sales disueltas, sólidos suspendidos. aguas residuales, residuos sólidos de piel, y envases vacíos de químicos.

Lavado: permanentemente la piel es lava de manera que garantice la limpieza del mismo, y refleje las condiciones para el siguiente subproceso, en este apartado genera residuos líquido contenido de sulfato cálcico, bisulfito sodio, sólidos suspendidos y sales disueltas.

Piquelado y desengrasado: en este apartado se requiere eliminar los álcalis y la grasa de la piel, para lo cual requiere sustancias químicas, ácido, sales y abundante agua, generando residuos líquidos contenidos de ácido y sales, gases disueltas, sustancias químicas, además, de los envases vacíos de los productos químicos.

Curtido en base a sales de cromo: Considerado como el subproceso de curtido más utilizados por ser el método de más rápido, puesto que se demora entre 8 a 24 horas, pero el más dañino para el medio ambiente, debido a su alto contenido de sustancias tóxicas que es el cromo, este método permite estabilizar el colágeno de la piel mediante agentes curtientes y minerales que permiten transformar la piel en cuero. Del mismo modo, el agua residual generado contiene residuo líquido de cloruros, sulfatos, cromo no fijado, sulfato básico de cromo, virutas de cuero cromado, sales, ácidos, etc., además, de envases vacíos de productos químicos.

Curtido con agentes vegetales: Esta alternativa natural y sustentable de producción del cuero no utiliza químicos para abaratar costos, tampoco daña los recursos naturales, el curtido de piel con agentes vegetales es un subproceso artesanal que utiliza curtientes vegetales derivados de plantas, cortezas y frutas, el producto final resalta un cuero más suave, de tono natural y con características únicas, además de que son reciclables y

biodegradables mucho más que amigables con el medio ambiente. subproceso de curtido del cuero con agentes vegetales permite la conservar la fibra, flexibilidad, suaves al tacto, elasticidad y mucho más bello como resultado de los extractos vegetales, el curtido con taninos se viene dando desde los antepasados dependiendo para que esta destinado el cuero, el tanino comprender a la corteza del roble, castaño, de las hojas, de una receta específica en donde el cuero es insertado en fosas contenido de dicha solución, este apartado puede tardar meses dando resultado las pieles bastantes rígidas. generando residuo líquido contenido de taninos, ácido orgánico, fenoles, sulfúrico y fórmico, naftalenos, sales de curtido, residuos biodegradables y envases de productos químicos utilizados.

Escurrido: a fin de eliminar la humedad de la piel pasa por una maquina hidráulica que escurre hasta el 108 kg de agua, posteriormente es apilado en un espacio adecuado de manera que continúe escurriendo la humedad sumergida en la piel, esta operación genera residuo líquido contenido de: sulfatos, cloruros, sales, cromo no fijado, ácido, etc.

Rebajado y cortado: en este espacio se controla el grosor del cuero, por medio de una máquina que corta y rebaja el espesor del cuero hasta que quede uniforme toda la pieza, esta operación genera residuos sólidos contenido de cromo, aserrín de cuero, y acidez.

Recurtido, teñido y engrase: en este apartado, integra componentes como colorantes, grasas, tensoactivos y sales neutras, generando residuos líquidos contenido de cloruros, sulfatos, cromo, recurtientes, colorantes, y engrasantes, etc., además de potenciales derrames de aceite, colorantes y envases vacíos de productos químicos.

Secado y acabado: el subproceso de secado elimina alrededor de 106 kg de agua, la piel pasa por túneles en donde circula aire caliente y finaliza con el subproceso del acabado operación que acciona y trata de dotar de elasticidad, suavidad y llenura del cuero recortando partes defectuosas, ablandando y estirando la piel, eliminando humedad y grosor indeseado, generando residuos sólidos contenidos de tintes pigmentados, resinas, lacas, solventes, ingresantes, otros sólidos y condensados de vapor.

Como se puede deducir en cada subproceso se generan aguas residuales y desechos sólidos, conteniendo sustancias químicas que requieren de un adecuado tratamiento, de manera que pueda ser reutilizado por el sector agrícola o ser vertidos a los acuíferos o redes de descarga, sin ningún peligro de contaminación al medio ambiente.

4.3 Sustancias químicas utilizadas en cada subproceso y su impacto con en el ambiente y la salud humana

La actividad económica de la curtiembre genera altos niveles de aguas residuales y desechos sólidos que causan efectos negativos al medio ambiente, la emisión gaseosa perjudica el agua, suelo y el aire produciendo daños irreversibles en cuanto a la calidad del ambiente (Arce, 2011). Tales efectos pueden impactar en la salud de los seres humanos, puesto que la utilización de agentes químicos como cargas orgánicas, sulfuro, cromo, entre otras sustancias químicas utilizadas en el proceso de curtido del cuero, y la frecuencia de uso de estos productos tóxicos perjudican la salud de las personas expuestas de forma directa o indirecta a los impactos de los efluentes industriales.

En este sentido, cada subproceso genera aguas residuales, desechos sólidos contenidos y de sustancias químicas que deben ser tomados en cuenta para su tratamiento correspondiente, a continuación, se presenta la Tabla 6, en donde se muestran las sustancias químicas, los principales contaminantes y el impacto para el medio ambiente.

En el subproceso de curtido con agentes vegetales los efluentes contienen generalmente, diversas sustancias como taninos, ácido orgánico, sulfúrico y fórmico, naftalenos, fenoles, sales de curtido y restos de cromo (Puente, 2019).

Y, por último, el subproceso de acabado, donde se realiza el recurtido de los cueros curtidos ya sea mediante sales de cromo o con agentes vegetales, además del teñido y engrase, el efluente que es descargado puede contener principalmente, recurtientes, ácido orgánico, sulfato básico de cromo, amoníaco, tensoactivos, anilinas, aguas, grasas, aceites, resina, tintes pigmentados, lacas, solventes.

Como se ha descrito anteriormente, el proceso de curtido de pieles es un conjunto de operaciones complejas que agrupan numerosos subprocesos como se ha indicado en la Figura 8, donde las aguas residuales generadas contienen diversos compuestos químicos tóxicos, por lo tanto, para realizar determinar cuál es el sistema de tratamiento más adecuado a aplicar, se deben conocer las caracterizas específicas de estas aguas, en la

Tabla 7. Características promedio de aguas residuales de los procesos productivos de una industria de curtido de pieles

Parámetro	Tenerías de cuero ^(a)	Curtido con cromo sin pelo ^(b)	Curtido con cromo con pelo ^(c)	Curtido con agentes vegetales acabado con pelo ^(d)
pH	4-12	6-9	4-8	5-9
Sólidos suspendidos (mg/L)	1685	770	2725	2250
DBO ₅ (mg/L)	2450	1725	2150	2120
DQO (mg/L)	6570	7150	5230	4030
Aceites y grasas (mg/L)	170	90	200	280

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de: ^(a) (European Commission, 2011); ^(b) (Muñoz, Longa, Carreño, & Aguilar, 2020); ^(c) (Pire, 2011); ^(d) (Méndez Pampín, Vidal Sáez, Lorber, & Márquez Romegialli, 2007).

Como se aprecia en la Tabla 7 los valores reportados indican claramente que los efluentes de este tipo de procesos pueden generar un alto impacto debido a que los principales parámetros muestran niveles elevados que superan los límites permitidos en la normativa nacional (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2017), la variabilidad del pH depende del tipo de agentes y la cantidad empleada en el tratamiento de las pieles, mientras que, la DBO se puede asociar a los residuales de carga orgánica como sangre, pelos, entre otros, la DQO depende en gran medida al uso de sales minerales.

4.4 Sistema de tratamiento de aguas residuales derivadas del proceso de curtido de pieles

Como se ha visto en Ecuador existen dos tipos de procesos de curtido de pieles, con sales de cromo o con agentes vegetales y generalmente estos procesos producen aguas residuales que contienen contaminantes de tipo inorgánico con características básicas o ácidas (Tabla 7), además de cargas orgánicas.

Determinar la composición del agua residual es muy importante puesto que permite seleccionar el sistema de tratamiento adecuado para el efluente. Por lo tanto, en

la Tabla 8, se reporta un promedio general tomando las características de los efluentes indicados en resumen en la Tabla 7, que serán la base para el análisis de un sistema teórico de tratamiento.

Tabla 8. Composición promedio de las aguas residuales de un proceso de curtido de pieles

Parámetro	Valor promedio	Límite según normativa legal
pH	1-13	5-9
Sólidos suspendidos (mg/L)	1683	220
DBO ₅ (mg/L)	2577	250
DQO (mg/L)	7445,5	500
Aceites y grasas (mg/L)	148	100

Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2017)

Los niveles reportados en la Tabla 8, no cumplen con los valores exigidos en la normativa nacional, lo que indica que este tipo de agua residual requiere un tratamiento específico para su depuración, debido a que estos parámetros indican contaminación biológica y química, es necesario emplear procesos de tratamiento primarios (incluyendo el pretratamiento) que permitan la disminución de los contaminantes permitiendo su ajuste a las siguientes etapas de depuración, también se requerirá de sistemas secundarios que regulen la carga orgánica biodegradables y terciarios para finalmente ajustar el exceso de DQO que presentas estas aguas.

El tratamiento de aguas residuales que se da mediante operaciones unitarias que implican fenómenos físicos, químicos o biológicos se puede resumir como el mostrado en la Figura 12 del Anexo 1, más detallado en la línea de agua y la línea de fangos, esquema propuesto se ve reflejada en la Figura 9.

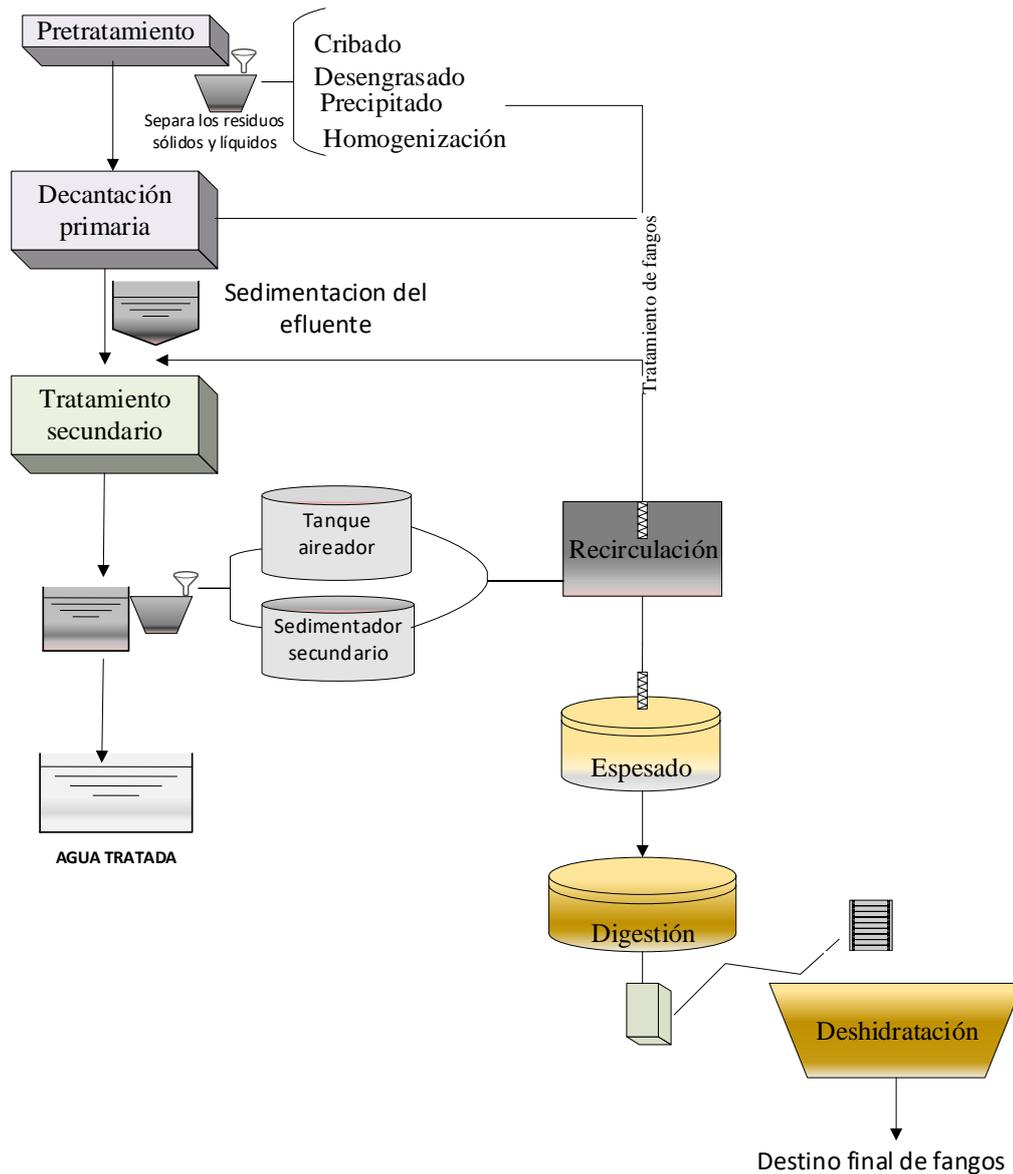


Figura 9. Esquema propuesto del sistema de tratamiento de aguas residuales
Fuente: Ilbay, (2021) adaptado de (Callejas, Vázquez, Rodríguez, & Corral, 2021)

4.4.1 Pre-tratamiento

Antes de describir el sistema de tratamiento propuesto (Figura 9), es importante recordar que en la línea de procesos de curtido los efluentes que se producen son de dos tipos de residuos que no es recomendable mezclarlos, el residuo que viene del pelambre y el residuo que viene del teñido inicial puesto que al mezclarlos en el efluente final ocasiona compuesto químicos tóxicos que van a ser de muy difícil tratamiento, por tal motivo, se prefiere realizar un pretratamiento de estas aguas por separado el sistema que

se va a proponer a continuación se puede aplicar por separado a cada uno de estas líneas para poder obtener por un lado la amortiguación del efecto de mezclar y posteriormente ya se mezclaría con el efluente listo para su tratamiento, en la Figura 13 del Anexo 1, se muestra un esquema detallado de un ejemplo de una empresa donde procesan los efluentes de estas dos líneas iniciales por separado.

En este apartado, como muestra la Figura 9, busca separar el residuo líquido y los residuos sólidos gruesos, además de eliminar aceites y grasas, elementos que obstaculizan los siguientes procesos y la efectividad de los procesos químico y biológico. El pre-tratamiento es realizado teóricamente por medio de sistemas como cribado o desbaste, desengrasado y homogenización.

La Figura 9 muestra que el agua residual inicialmente pasa el equipo de cribado o desbaste que mediante rejillas o tamices separa residuos sólidos de gran tamaño del agua residual, el desbaste se clasifica según el grosor de los barros. Posteriormente el agua residual pasa por el área de desengrasado separando las grasas y aceites sumergidos en el agua residual de modo que no obstaculice las demás operaciones. Es importante agregar un sistema de precipitación uno para la línea de pelambre para que se eliminen las proteínas antes de mezclarse las aguas en el homogeneizador y otro en la línea de curtido a fin de que se eliminen las sales de cromo que puedan reaccionar posteriormente con las proteínas.

Los efluentes se pueden mezclar en la etapa de homogenización esta operación pretende nivelar el caudal amortiguando posibles variaciones de la composición de las aguas y del caudal entrante, mediante la oxidación de sulfuro y siguiente de la precipitación de proteínas, el agua residual finalmente pasa por el equipo de tamiz de este modo separa los residuos sólidos del efluente, quedando listo para la siguiente operación.

Se ha propuesto un sistema de pre-tratamiento que consiste en las unidades antes descritas, una manera de evaluar teóricamente el efecto que tiene el sistema de pretratamiento en el efluente de la industria de curtido es aplicar un balance teórico de remoción a continuación en la Tabla 9 se muestran los resultados de este balance.

Tabla 9. Balance de remoción del pretratamiento

Parámetro (mg/L)	Valor de entrada	Porcentaje de remoción de pretratamiento	Valor de salida	Límite según normativa legal	Observación
Sólidos suspendidos	1683	75 ^(a)	420,75	220	
DBO ₅	2577	30 ^(b)	1803,90	250	
DQO	7445,5	35 ^(b)	4839,57	500	
Aceites y grasas	148	70 ^(a)	44,40	100	Cumple

Fuente: Ilbay, (2021), adaptado de: ^(a) (Romero, 2016), ^(b) (Mecalf & Eddy, 2000)

Los resultados mostrados en la Tabla 9 indican que, al aplicar el pretratamiento, el balance teórico refleja que todos los parámetros bajaron en sus niveles y al compararlos con la normativa nacional se observa que a pesar de la reducción no fue suficiente porque los sólidos, la DBO y la DQO aun superan los límites de la norma (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2017), pero los aceites y las grasas si cumplen con los niveles exigidos.

4.4.2 Tratamiento primario

Esta operación busca separar mediante medios químicos los sólidos en suspensión sedimentales como grasas, fibras, etc. Entre las operaciones a realizarse en este tipo de tratamiento se pueden encontrar la flotación, corrección del pH, sedimentación o decantación, filtración, etc. (Muñoz, Longa, Carreño, & Aguilar, 2020).

Se propone una sedimentación primaria puesto que esta operación separa los sólidos en suspensión sedimentales presentes en el agua residual, además, remueve la carga de sustancias orgánicas disminuyéndola en un 25 a 35 % de DBO₅, esta operación produce residuo (fango) y por lo mismo requiere de un tratamiento de estabilización (Troconis, 2010). También es importante resaltar que para mejorar la eficiencia del decantador es recomendable adicionar un compuesto coagulante que favorezca la desestabilización termodinámica de las sales disueltas que no han sido eliminadas en la etapa previa, para ello, se puede usar sales de aluminio o hierro que según la teoría son las más recomendables (Muñoz, Longa, Carreño, & Aguilar, 2020).

La adición del coagulante se puede realizar en el tanque de homogenización lo que permite un buen mezclado sin la necesidad de emplear equipos mecánicos de agitación y tanque para llevar a cabo esta etapa, disminuyendo los costos y el espacio del sistema de depuración, además, la floculación puede ocurrir durante el traslado del agua a la entrada del sedimentador dentro de la tubería.

Nuevamente para ver la efectividad sobre los parámetros de control del proceso de tratamiento se aplica un balance teórico sobre el sedimentador primario como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Balance de remoción del sedimentador

Parámetro (mg/L)	Valor de entrada	Porcentaje de remoción de sedimentador ^(a)	Valor de salida	Límite según normativa legal	Observación
Sólidos suspendidos	420,75	70	84,15	220	Cumple
DBO ₅	1803,90	35	901,95	250	
DQO	4839,57	35	2233,65	500	

Fuente: Ilbay, (2021), adaptado de: ^(a) (Romero, 2016).

Como se puede observar la Tabla 10 al usarse el sedimentador primario se logró reducir todos los parámetros, pero hasta el momento se puede destacar de los resultados del balance, que los sólidos suspendidos ya entran en los límites de la normativa (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2017), pero la DBO y la DQO aún no cumplen por lo que requiere un tratamiento siguiente.

4.4.3 Tratamiento secundario

Como se ha visto es necesario todavía regular el DBO y el DQO, para ello se puede usar un tipo de tratamiento biológico que puede ser anaerobio o aerobio, para este tipo de efluentes donde la carga orgánica requiere de un tratamiento a gran caudal y a manejarse en un contenido de concentración moderadamente alto es recomendable usar el sistema aerobio y el más recomendado por la bibliografía es el sistema de tratamiento de lodos activados, por lo tanto, se propone el sistema de tratamiento de lodos activados, el cual consiste en un reactor que por medio de un sistema de aireación y posteriormente

un sedimentador de tipo secundario que va a cumplir la función de separar el agua flotada del lodo bacteriano y recircular este lodo para que pueda mantener el equilibrio.

Los lodos activados es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (cultivo aeróbico de microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor para mantener la concentración de microorganismos en la cámara de aireación aproximadamente constante, el resto se elimina como barro en exceso (López, Cabrera, & Carillo, 2017).

Para ver el efecto del sistema de tratamiento propuesto sobre los parámetros del efluente se plantea nuevamente un balance teórico de esta unidad usando los porcentajes de remoción como se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Balance de remoción del sistema de lodos activados

Parámetro (mg/L)	Valor de entrada	Porcentaje de remoción ^(a)	Valor de salida	Límite según normativa legal	Observación
DBO ₅	901,95	70	128,85	250	Cumple
DQO	2233,65	60	372,28	500	Cumple

Fuente: Ilbay, (2021), adaptado de: ^(a) (European Commission, 2011)

Como se puede observar en la Tabla 11, con los resultados obtenidos al aplicar el sistema de tratamiento de lodos activados por medio de un proceso de aireación y un sedimentador, se logró reducir los parámetros de DBO y DQO a niveles que cumplen con los límites de la normativa nacional (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2017).

Por lo tanto, se ha demostrado a través de balances teóricos de eficiencia, que el sistema de tratamiento propuesto es adecuado para la depuración de las aguas residuales de las empresas de curtiembre, basado en el promedio de niveles de contaminación que se generan en este sector industrial a nivel nacional.

Al aplicar la depuración del agua residual, así como a los residuos sólidos se pueden producir diversos beneficios a este sector industrial, generando ahorro de dinero,

y maximizando utilidades, puesto que el agua tratada puede ser reutilizada para los riegos de cultivos, limpieza de maquinarias, el enfriamiento de las maquinarias, limpiezas de las áreas de producción, entre otros.

En este sentido la importancia de tratar el agua residual permite contribuir en la protección del medio ambiente y la salud de las personas, y este proceso de depuración como se mostró se debe hacer en función de las características del efluente y adaptarse al tamaño de la industria, permitiendo la proyección del tratamiento a través de un análisis teórico y ajustable a la economía de cada empresa.

Finalmente, debido a la generación de lodos de sistema de depuración del agua residual, tanto en el tratamiento primario como en el biológico, se debe tener en cuenta que las empresas de curtido requieren del tratamiento final de esta carga de sólidos para poder disponerla como desecho o reutilizar como abono, dependiendo de sus características, para ello, se disponen de diferentes técnicas que pueden ser aplicadas como las mostradas en el Anexo 2.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el Ecuador la producción de cuero involucra principalmente los tipos de procesos de curtido con agentes vegetales o procesos de curtido en base a sales de cromo, existiendo curtiembres artesanales e industriales distribuidas el 90 % de estas empresas en la provincia de Tungurahua.

Las características de las aguas residuales de la industria de la curtiembre dependen de dos factores fundamentales: el primero de cómo se realiza el proceso y que líneas son las que predominan (línea de sales químicas o de productos vegetales) y el segundo en qué proporción o volúmenes son utilizadas las sustancias químicas dentro del proceso productivo.

El principal factor de contaminación que tienen los efluentes industriales de las curtiembres es de tipo biológico, en donde la DBO y la DQO son los parámetros de control, con la ventaja que este tipo de contaminación es biodegradable.

El tratamiento de las aguas residuales de una tenería no requiere de procesos complejos y debe incluir una etapa de pretratamiento, tratamiento primario básico, un tratamiento de tipo biológico, como unidad fundamental.

Para el buen funcionamiento del sistema de depuración de las aguas de una industria de curtido es primordial pretratar por separado los dos tipos de corrientes que se originan en las etapas iniciales del proceso industrial, el efluente cargado de proteínas y la corriente contenida de cromo.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda aplicar el sistema propuesto como base del tratamiento de efluentes de las industria de curtiembres nacionales, realizando ajustes de acuerdo a los niveles de contaminación generados por cada empresa, de manera que, con los datos reales de calidad de agua y caudal de residuales, se pueda realizar el diseño de las unidades en concordancia con el tipo de proceso usado y el tamaño de la tenería.

Diseñar un modelo de cálculo del balance de remociones de cada uno de los equipos del sistema de depuración del agua residual, por medio del cual se evidencie la funcionalidad del tratamiento.

Es importante realizar un mantenimiento e inspecciones preventivas de los equipos a fin de garantizar su durabilidad y el óptimo tratado de las aguas residuales.

Bibliografía

- Aguirre, J. (2014). Propuesta de una guía de buenas prácticas ambientales para la curtiembre tenería Díaz ubicada en el cantón Ambato. *Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador.*
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. . *3era edición. San Fe de Bogotá. Colombia. McGraw Hill.*
- Arce, M. S. (2011). “Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo”. *Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales.*, 1-153.
- Arguedas, O. (2010). Tipos de diseño en estudios de investigación biomédica. *Acta Médica Costarricense*, 16-18.
- Arias, D. (2014). Diseño de un sistema de flotación por aire disuelto (F.A.D) para Mejorar la calidad del agua residual de la industria lactea el ordeño y la corpabe. (tesis de grado). *Escuela Politecnica Nacional, Quito.*
- Arias-Lizárraga, D. M., & Méndez-Gómez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(3), 15. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000300008
- Azuerro, Á. E. (2018). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación . *Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 110 - 122.
- Benítez, N., & Peña, E. (2019). Selection of a sustainable alternative for the reduction of chromium pollution in leather tanning wastewater. *DYNA*, 86(209), 1-25.

- Callejas, M., Vázquez, M., Rodríguez, P., & Corral, M. (04 de 03 de 2021). *MAU-EDAR*. Obtenido de Estacion depuradora de aguas residuales: http://www.lis.edu.es/uploads/967d742f_455b_4bd0_a29f_438968130ea1.pdf
- Camacho., D. A. (2013). “Sistema de Gestión de Riesgos Y Salud para el Mejoramiento de los Procesos De Producción en la Empresa Curtiembre Quisapincha”. *Ingeniería industrial en proceso de automatización.*, 20-30.
- Canchingre-Bone, M. E., Mosquera-Quintero, G., & Morales-Pérez. (2016). La gestión de los residuos líquidos empresariales de la refinería. *Ciencia en su PC*, 42- 56.
- Carvalho, M., Dezotti, M., & Thurler, G. A. (2013). Application of activated sludge process followed by physical-chemical processes in the treatment of industrial saline effluent for reuse. *Acta Scientiarum. Technology*, 299-305.
- Castañeda Villanueva, A. A., & Flores López, H. E. (10 de Junio de 2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en los Altos de Jalisco, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*(5), 1-14. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Chávez-Vera., I. G. (Marzo de 2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Revista científica Dominio de las Ciencias.*, 3(1), 536-560. Obtenido de <file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-DisenoeImplementacionDeUnSistemaDeTratamientoDeAgu-6134928.pdf>
- Chulluncuy, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*(29), 153-170.
- Chuqui, E., & Sánchez, V. (2018). Estimación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para el sector textil en el cantón Pelileo. (Tesis de grado). *Universidad Nacional de Chimborazo*, Riobamba .

- Contreras, K., Contreras, J., Corti, M., Sousa, J. d., Durán, M., & Escalante, M. (junio de 2009). *El agua un recurso para preservar*. Obtenido de <http://www.eventos.ula.ve/ciudadsostenible/documentos/pdf/agua.pdf>
- Contreras, K., Contreras, J., Corti, M., Sousa, J. d., Durán, M., & Escalante, M. (Julio de 2009). *EL AGUA UN RECURSO PARA PRESERVAR*. Obtenido de EL AGUA UN RECURSO PARA PRESERVAR: <http://www.eventos.ula.ve/ciudadsostenible/documentos/pdf/agua.pdf>
- Córdova, H. M., Vargas, R., Cesare, M. F., Flores, L., & Visitación, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplexantes de cromo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 183-191.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de Manejo de Aguas Residuales*. Santafé de Bogotá, Colombia.: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Curicama, L. M. (2011). Utilización de tres caninos vegetales con diferentes niveles en la curtiembre de cueros. *Ingeniería Zootécnica*, 1-124.
- Díaz, A., Lorenzo, V. E., & Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC*, 46, 1-10.
- Díaz, E., Alvarado, A. R., & Camacho, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), 78-97.
- Emmer, V., & Del Campo, M. (2014). Guía de Producción más Limpia en el Sector Curtiembres. *Frepalata*. Montevideo, Uruguay.
- Escribano, C. C. (2013). *Historia de los curtidos de pieles*. San Vicente Alicante: Editorial ECU.

- Escudero, V. P. (2016). "Curtición de pieles de conejo con la utilización de diferentes niveles de curtiente vegetal mimosa para la obtención de cuero para encuadernación" (Tesis de grado). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba*.
- European Commission. (2011). *Draft reference document on best available techniques for the tanning of hides and skins*. . European IPPC Bureau.: Industrial emissions directive. .
- Fernández Lescano, J. B. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para optimizar el proceso de pelambre en la empresa "Curtipiel Martínez", parroquia Izamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. *Ingeniería en Medio Ambiente*, 131.
- Fuck, W. F., Gutterres, M., Marcílio, N. R., & Bordingnon., S. (2011). The influence of Chromium supplied by tanning and wet finishing processes on the formation of Cr(VI) in leather. *Braz. J. Chem. Eng.*, 1-10.
- García Sánchez, M., Godínez Alarcón, G., Pineda Avonza, B., & Reyes Añorve, J. (2015). Derecho al agua y calidad de vida. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 6(11), 3-16. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4981/498150319045.pdf>
- García, A. (06 de Agosto de 2018). *Tipos de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-1448.html>
- García, O., & Ramírez, L. (2019). Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de Curtiembre y Marroquinería F.B. (Tesis de grado). *Fundación Universidad de América. Bogotá. Colombia*.
- Guillén, N. A., & Arza, C. S. (2016). La importancia del valor del agua. El caso paraguayo. *Población y Desarrollo*, 22(42), 101-108. Obtenido de <http://scielo.iics.una.py/pdf/pdfce/v22n42/2076-054X-pdfce-22-42-00101.pdf>

- Haro, S. V. (2010). Implementación de un sistema de control la velocidad de un fulón en la fábrica curtidos Solís para cumplir con los rangos de velocidad requeridos en las diferentes etapas del curtido de pieles. . *Repositotio.uta.edu.ec*, 29-30.
- Herdoíza, G. M. (2016). Análisis descriptivo de la sustentabilidad económica, social y ambiental de la industria del cuero del Ecuador (Tesis de grado). *Universidad San Francisco de Quito*, Quito.
- Herrera, M. E. (2015). Evaluación del almidón de papa como floculante para el tratamiento de aguas residuales domesticas. *Ciencia y tecnología alimentaria.*, 13(2), 4.
- Lescano, J. B., & Tapia, A. I. (2015). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para optimizar el proceso de pelambre en la empresa "curtipiel martínez"*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2746/1/T-UTC-00283.pdf>
- López, A., Cabrera, M., & Carillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en el agua residual doméstica mediante prototipo A escala de laboratorio. *La granja*, 26(2), 10.
- Márquez, B. F. (12 de Noviembre de 2016). *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I)*. Obtenido de Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Martínez, L. F. (2015). Aplicación de una curtimción combinada con Granofin F 90, y tres diferentes niveles de sulfato de aluminio en pieles ovinas. . *Dspace. epoch.edu.ec*, 7-9.
- Masabanda, M., Echegaray, C., Delgado, V., & Echegaray, D. (2017). Análisis y localización de curtiembres en el cantón Ambato, como parte de patrimonio cultural en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, II(4), 41 - 56.

- Medina, D. V., & Derpic, D. A. (2017). Alternativa de proceso de curtido con alto agotamiento de Cromo para las curtiembres tradicionales de la ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 8(1), 1-28.
- Mejía, Á. F. (2013). “Evaluación de tres niveles de ligante butadieno en el acabado de alta cobertura para cuero destinado a la confección de calzado”. *Ingeniería en Industrias Pecuarias*, 22-140.
- Méndez Pampín, R., Vidal Sáez, G., Lorber, K., & Márquez Romegialli, F. (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembre*. España: Universidad de Santiago de Compostela.
- Metcalf & Eddy, i. (2000). *Ingeniería de Aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Restauración*. España: 4^{ta} edición. Macgraw-Internamerica.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Guía ambiental para la industria del curtido y preparado de cueros . *Dirección de desarrollo sectorial sostenible* , 31.
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2013). Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador. *Proyectos SAICM Quito, Ecuador*, 127-139.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Emisiones atmosféricas. *MITECO*, 1.
- Muñoz, V., Longa, V., Carreño, A. C., & Aguilar, J. F. (2020). Diseño, evaluación y validación de un sistema de tratamiento de efluentes del proceso de curtido de pieles: caso Pieles del Sur E.I.R.L. *Enfoque UTE*, 11(2), 542.
- Naranjo, M. O., & Calucho, S. J. (2019). “Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre San Miguel de la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua periodo 2018.” (Tesis de grado). *Universidad Tecnológica Indoamerica.*, Ambato.

- Ortiz, N. E., & Carmona, J. C. (2014). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*, (40), Bogotá.
- Pagalo, S. J. (2010). Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización curtiembre pieles "PUMA".(Tesis de grado). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba*.
- Penagos, N. E., Esquivel, J. A., Luque, A. J., & Cepeda., L. C. (2018). Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres. *Ingeniería y Desarrollo*, 1.
- Pérez, F. M., Ordóñez, T. d., & Touset., J. P. (2016). Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara. *Centro Azúcar*, 43(2), 10.
- Pire, M. R. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5-19. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702011000200001&lng=es&tlng=es
- Portada, A. (2016). "Tratamiento de las Aguas Residuales del proceso de curtido en Pieles por procesos Físico-Químico de la Curtiembre de La Facultad de Ingeniería Química de la UNA". *Universidad Nacional del Antiplano.*, Perú.
- Puente, C. A. (2019). Cowhide Tanning using *Caelsalpinia spinosa* combined with Oxazolidine. *Industrial Data*, 1-9.
- Ramírez, I. D. (2013). Anaerobic Digestion Modeling: from One to Several Bacterial Populations. *Tecno Lógicas*, 181-201.
- Rivas, C. (2018). Piensa un minuto antes de actuar: gestión integral de los residuos sólidos. *Especialidades de consultoría ambiental*, Colombia.

- Rivas, W. A. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de agua residual. *Ingeniería*, 12(2), 68-69. Obtenido de Universidad Piloto de Colombia.
- Rodríguez, J. P., García, C. A., & Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 149-164.
- Rojas, L. V. (2017). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de curtiembre (Tesis de grado). *Universidad Central del Ecuador*, Quito.
- Romero, J. (2016). *Tratamiento de Aguas Residuales: teoría y principios de diseño*. Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería : 5^{ta} edición .
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 121 - 135.
- Salamanca, E. J., Kintz, J. R., & Muñoz., E. (2018). *Evaluación de la contaminación en ecosistemas acuáticos. un estudio de caso en la laguna de Sonso, cuenca alta del Río Cauca*. Cali: Programa editorial Universidad del Valle.
- Sánchez, I., Revelo, D., Burbano, Á., García, R., & Guerrero, R. (2016). Performance of different biofilters in a recirculating system for rainbow trout farming. *MVZ Córdoba*, 5426-5440.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. *Ministerio del Ambiente*. , 1-407.
- Troconis, A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Miami: Belsona Inc.
- Valdés, D. (12 de Diciembre de 2012). Diseño preliminar de un sistema de tratamiento de aguas residuales a escala industrial para los efluentes del procesamiento de pieles (Tesis de grado). *Universidad San Francisco de Quito*, Quito.
- Vásquez, V., & Hidalgo, P. (2014). El cuero, producción industrial y artesanal en el Ecuador Análisis comparativo sobre el método de producción del cuero entre las

provincias de Tungurahua y Azuay. (Tesis de grado). *Universidad del Azuay*, Azuay.

Zurita, G. (2018). Análisis descriptivo de la sustentabilidad económica, social y ambiental de las industria de curtido de pieles en el Ecuador. (Tesis de grado). *Universidad San Francisco de Quito*, Quito.

ANEXO 1

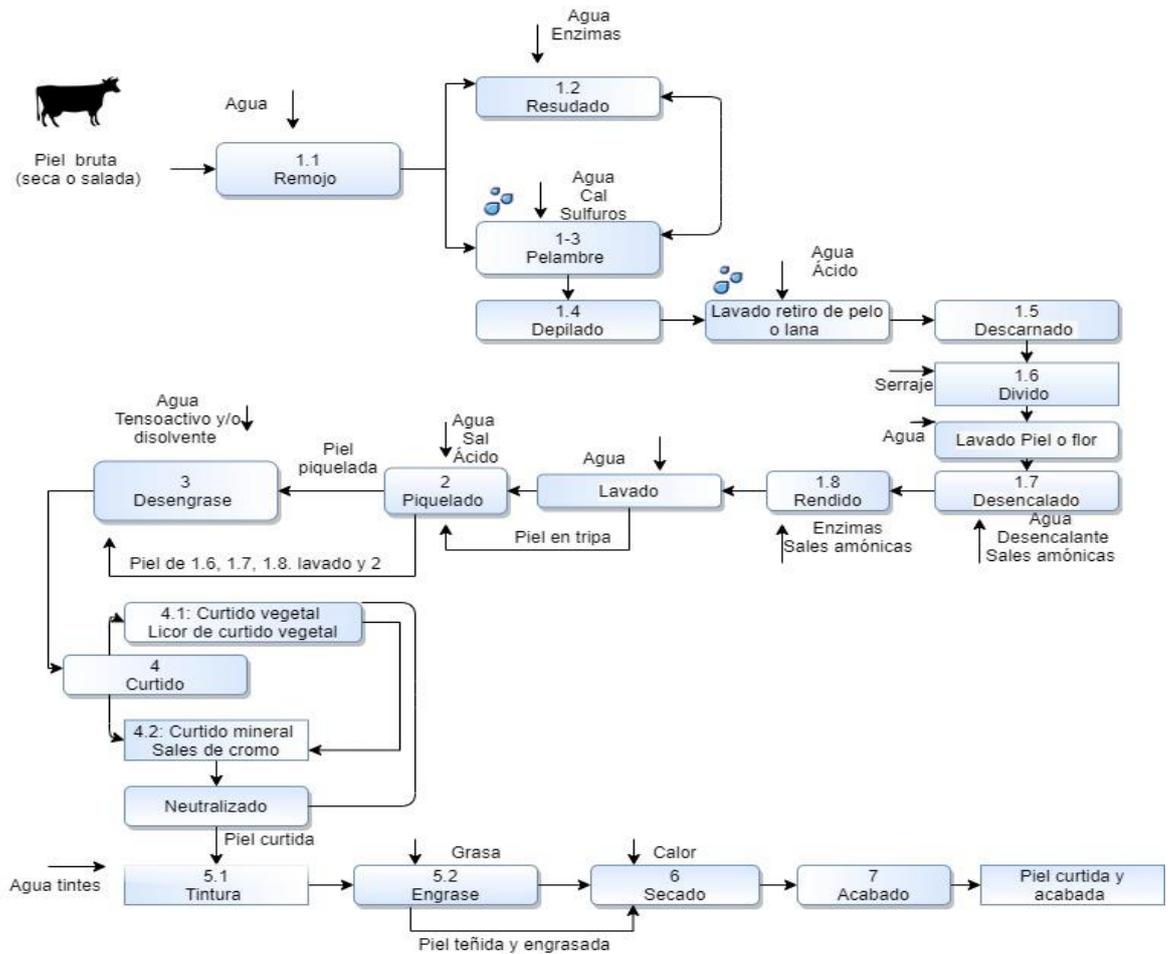


Figura 10. Diagrama general del proceso de curtido de pieles animales

Fuente: (Herdoíza, 2016)

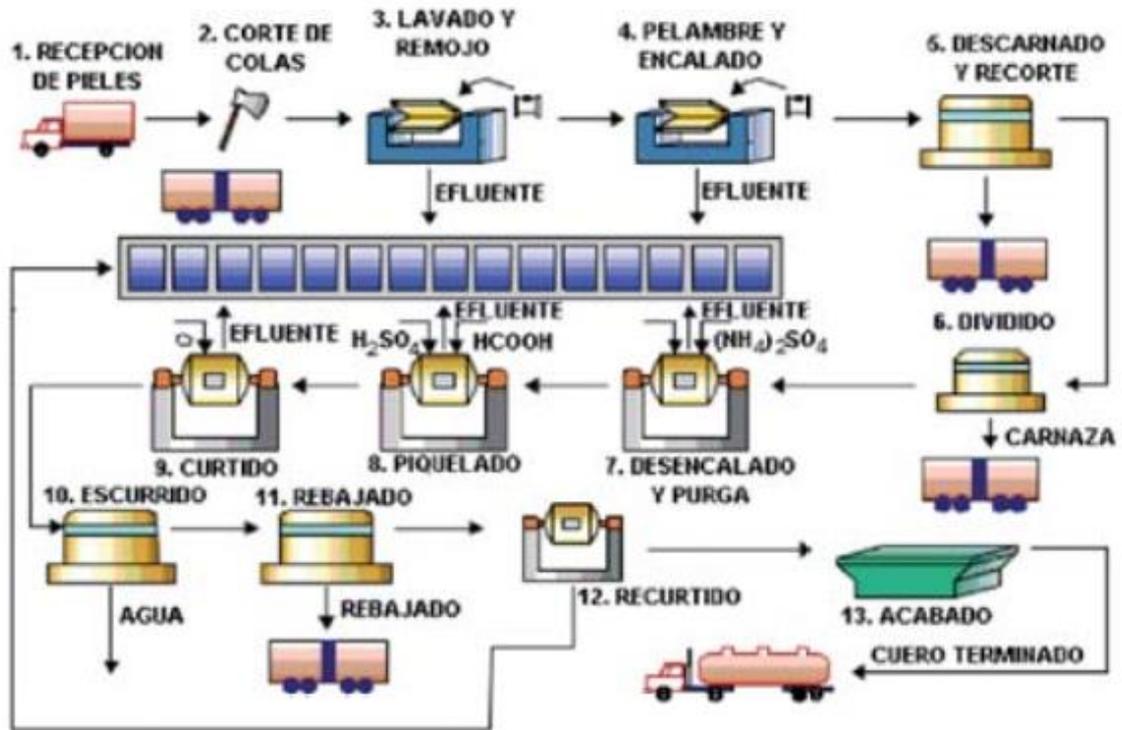


Figura 11.Diagrama de procesos de curtido y acabado del cuero

Fuente: (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2013).

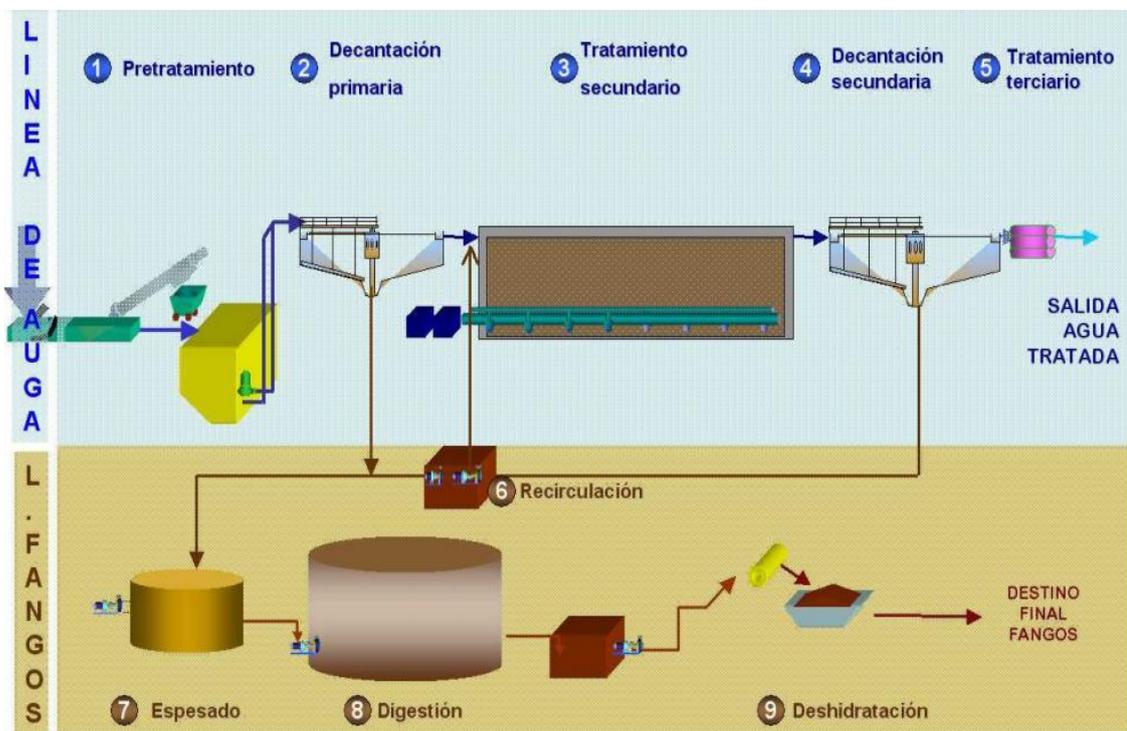


Figura 12.Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: (Callejas, Vázquez, Rodríguez, & Corral, 2021)

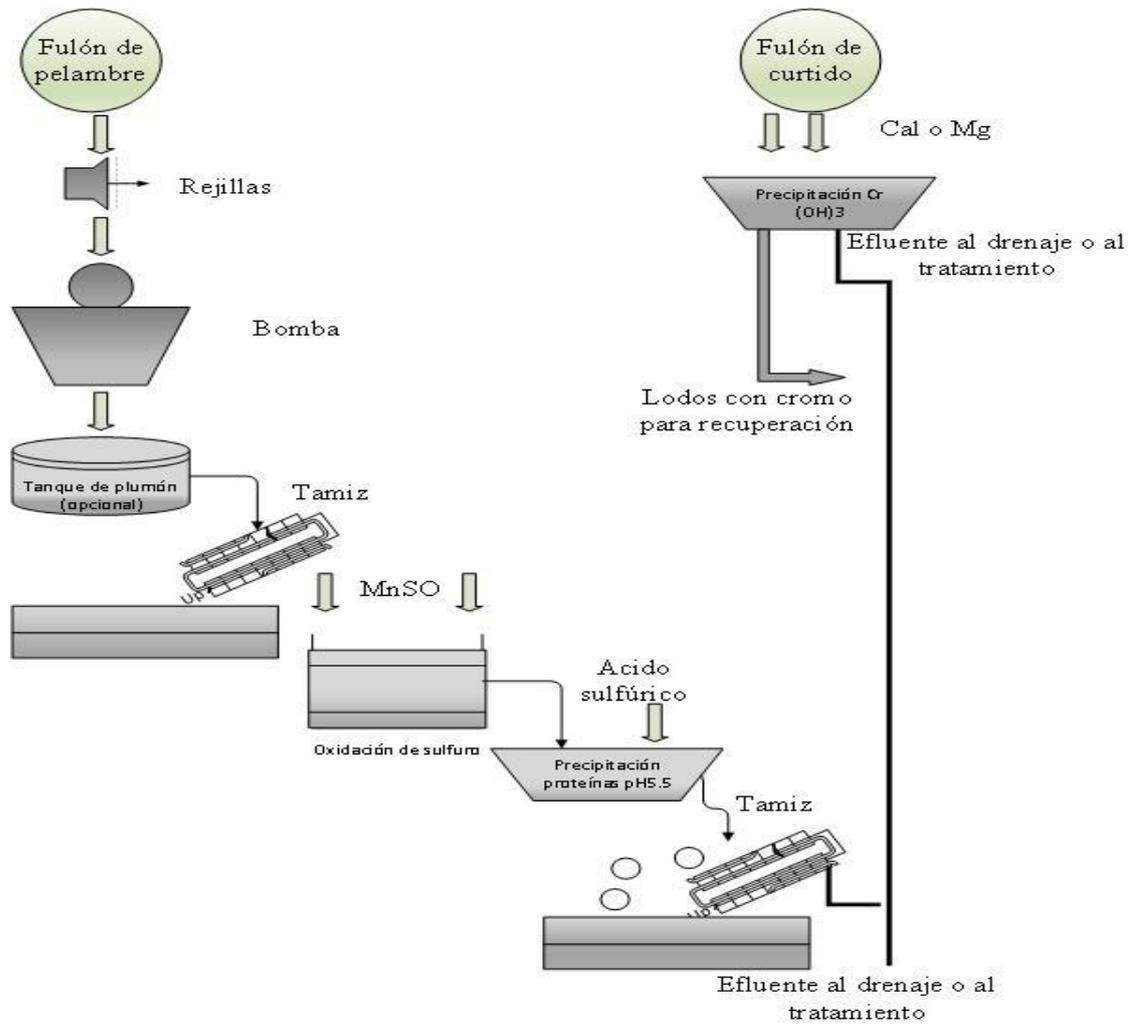


Figura 13. Separación de efluentes en las etapas de pretratamiento

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2006)

ANEXO 2

Recirculación de residuos sólidos al tanque de tanque de lodos

El resultado de la concentración de los residuos sólidos contenidos en el afluente (lodos primarios) o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultante de los sólidos disueltos. Los lodos denominados biosólidos en las industrias, material derivado del fondo de los tanques de sedimentación primaria y secundaria, sistemas de filtración biológica y algunos tipos de tanques de aireación.

El tratamiento de dichos residuos derivado de las aguas residuales contiene diversos tipos de bacterias y microorganismos con el fin de reducir el volumen y destruir o estabilizar los sólidos antes de su eliminación final esta operación se ayuda de actividades de espesamiento (concentración), digestión (estabilización), desaguado (deshidratado) y secado. La eliminación final de estos residuos sólidos puede ser por medio de la incineración, uso en fertilización, relleno sanitario o eliminación en el mar (Sánchez, Revelo, Burbano, García, & Guerrero, 2016).

Espesado

En este apartado, se busca reducir el volumen de fangos mediante la eliminación del agua, por medio, del espesamiento por gravedad- decantación y espesamiento por flotación. Esta operación de asentamiento y los tanques espesadores reciben suministros de unas bombas de lodos de los clarificadores primarios y secundarios. Posteriormente el barro espeso es bombeado hacia un equipo para desaguar y el material más claro y ligero que sale a flotación es regresado al proceso general de tratamiento. La concentración de solido del 3 % al 4 % facilita el trabajo de la maquina bombadora por el contrario si el espesor del lodo es alrededor del 10 % dificulta la eficiente operación.

Digestión o estabilización

En esta operación se busca eliminar olores, materia orgánica, organismos patógenos a fin de reducir los riesgos sobre la salud, con la ayuda de la digestión aerobia, anaerobia y de agentes químicos y tratamiento térmico, operación que es realizado a los lodos de bajo

contenido de oxígeno. Los biosólidos derivado de los tanques de sedimentación, estanques de filtración biológica, aireadores y clarificadores, es sometida a una temperatura del 35°C produciendo dióxido de carbono y gas metano, la eficiencia en la transformación de la materia orgánica degradable se evidencia al operar el 80 % y 90 % en estos dos gases (Ramírez, 2013).

A fin de mantener la temperatura del tanque, el contenido se mantiene lentamente mediante el intercambiador de calor derivado por la combustión directa del gas metano o el uso de agua caliente proveniente de los canales refrigerantes en los motores de combustión interna que opera en el metano. La conmovición mecánica mantiene los residuos en movimiento y el lodo digerido se depositan en el fondo del tanque debido a su gravedad específica más elevada. Cabe recalcar que, esta operación puede demorar semanas y el proceso de digestión es lento de manera que el tiempo de demora varía dependiendo el volumen de residuos sólidos generados en el proceso de curtido de la piel.

Desaguar, deshidratación y secado

Con la eliminación de los desechos peligrosos y la reducción de la masa de residuos representa un ahorro para la industria puesto que los rellenos sanitarios tienen costos muy altos. La operación de desagüe cuesta de:

Prensa en filtro: en este apartado el biosólido es presionado contra una superficie porosa de manera que escurre la humedad sumergida en el lodo, el agua retorna al proceso de tratamiento, mientras que el pastel seco es extraído para el tratamiento/secado, ulterior o su eliminación.

Centrifugas: espacio en el que es deshidratado los lodos usando la fuerza centrifugada, el lodo ingresa a un dispositivo giratorio a través de una entrada en el centro mientras que los lodos más pesados son arrojados en los exteriores de manera que drene la humedad sumergida, el agua resultante regresa al sistema de tratamiento de aguas residuales y los sólidos separados se eliminan ya sea para un tratamiento/secado, ulterior o su eliminación.

Lechos de secado: consiste en ubicar los residuos en un lecho forrado para el secado natural mismos que son removidos periódicamente durante el proceso de secado o a su vez son enterrados.

Eliminación: una vez eliminado el 50 % de la humedad contenido en el lodo pueden ser embarcados a los rellenos sanitarios, verteros de ultramar, también puede ser utilizado para la fertilización o acondicionamiento del suelo o de ser el caso serán eliminados.

Entierro: los rellenos sanitarios aceptan el pastel seco a costos altos por lo que las industrias rechazan esta alternativa.

Incineración: es el método más utilizado, incineran el pastel seco con el calor de esta manera evacua la humedad y mata todo el material orgánico.

El sistema de tratamiento de aguas residuales enfoca su actuar en la prevención de malos olores para lo cual el tanque de aireación es cubierto en su totalidad, a fin de contener los nocivos vapores generados por el proceso, dicho aire pútrido es conducido a una construcción cerrada con la ayuda de químicos y el sistema de filtración de carbono depura el aire concentrado (Carvalho, Dezotti, & Thurler, 2013). La reutilización de aguas residuales es posible, el efluente ya tratado es vertido en los ríos, en lagos, en las acequias, etc., así también es recuperado y reciclado en la misma industria para la limpieza de los equipos, enfriar maquinarias y depurar gases del proceso, además para usos internos como para jardines, campos de golf, espacios entre autopistas, para los cultivos, de esta manera, ahorra dinero y maximiza utilidades.