



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA



Tema: “Actualidad de la reutilización y reciclaje de desechos provenientes de curtiembres, revisión en Ecuador y el mundo”

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Dayana Mishel Anchatipan Bastidas

Tutor: Dra. Nelly Esther Flores Tapia

Esta tesis es parte del Proyecto de Investigación “Proyecto reciclaje de residuos Wet-blue para producir un adhesivo para zapatos ”, código SFFCIAL07.

Ambato-Ecuador

Septiembre 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Nelly Esther Flores Tapia

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 28 de julio del 2022

Dra. Nelly Esther Flores Tapia

C.I. 1716253305

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Dayana Mishel Anchatipan Bastidas manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Dayana Mishel Anchatipan Bastidas

C.I. 0503604506

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Dr. Esteban Fuentes
Presidente del tribunal

Msc. Danae Fernández Rivero
C.I.1757181209

Mg. María Daniela Garcés Moncayo
C.I. 1803571585

Ambato, 26 de agosto del 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Dayana Mishel Anchatipan Bastidas

C.I. 0503604506

AUTOR

DEDICATORIA

Dedicado en primer lugar a Dios por su amor, sabiduría, mansedumbre, bondad y disciplina para guiarme durante todo el camino haciéndome entender que con el todo es posible.

A mi esposo por ser una persona responsable y un ejemplo para seguir por su perseverancia y valentía para afrontar cada adversidad que se presenta.

A mi hijo por ser un niño inteligente, paciente y lleno de fortaleza a su corta edad, por acompañar a mamá durante todo el trayecto de estudio para llegar a la meta de obtener el título de ingeniera bioquímica.

A mis padres por su apoyo económico y emocional siendo capaces de educar una persona con valores y principios inquebrantables.

A mi familia en general y mis amigos por su apoyo durante toda la carrera universitaria.

**Aunque ande en valle de sombra de muerte, No temeré mal alguno, porque tú
estarás conmigo.**

Salmos 23:4

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de estudiar y formarme como profesional.

A mi esposo por su apoyo incondicional durante todo el proceso de estudio, por brindarme su tiempo y paciencia.

A mi hijo Liam Santiago Zambrano Anchatipan por su valentía y compañía durante todo el proceso de titulación y por ser el motor para cumplir cada una de mis metas.

A mis padres por las enseñanzas impartidas, el amor y los valores firmes que siempre me han inculcado.

Agradezco de forma especial a la Doctora Nelly Esther Flores Tapia por su compromiso, responsabilidad y paciencia en el desarrollo del presente proyecto.

Se agradece al Proyecto de Investigación “Proyecto reciclaje de residuos wet-blue para producir un adhesivo para zapatos”, código SFFCIAL07.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II	4
METODOLOGÍA	4
2.1. Selección de bibliografía.....	4
2.2. Selección de publicaciones en revistas indexadas y reportes gubernamentales	4
2.3. Organización de la información	5
2.4. Búsqueda de procesos eficaces para el reciclaje de residuos.....	5
2.5. Resumen de la bibliografía encontrada.....	5
CAPITULO III.....	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN,	7
3.1. Introducción	7
3.2. Examen del impacto ambiental provocado por los residuos de curtiembres a nivel mundial.....	9
3.2.1. Efluentes líquidos producidos por las curtiembres.....	10
3.2.2. Residuos sólidos producidos por las curtiembres.....	15
3.3. Identificación de curtiembres que siguen activas en el país.	17
3.3.1. Cantidad de residuos de curtiembres nacionales	20
3.3.2. Manejo de residuos en curtiembres de Ecuador	22
3.4. Procesos de reciclaje de efluentes líquidos y desechos sólidos	27
3.4.1. Reciclaje de Efluentes líquidos	27
3.4.2. Reciclaje de residuos sólidos	34

3.5. Procesos de reciclaje y reúso aplicados en las industrias de curtiembre ecuatorianas.....	43
CAPITULO IV.....	47
CONCLUSIONES	47
CAPITULO V	50
BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos químicos tóxicos presentes en efluentes líquidos de curtiembres	11
Tabla 2. Residuos sólidos provenientes de curtiembres	15
Tabla 3. Curtiembres registradas en la Superintendencia de Compañías después pandemia	19
Tabla 4. Efluentes líquidos de curtiembres, por cada 1000 L de aguas residuales por unidad de cuero terminado	20
Tabla 5. Residuos sólidos de curtiembres	21
Tabla 6. Límites permitidos para eliminación de residuos en las curtiembres ecuatorianas, TULSMA 2013.	23
Tabla 7. Parámetros para descargas industriales al recurso suelo.....	24
Tabla 8. Análisis de aguas residuales de curtiembres descargados a cuerpos de agua dulce en el Ecuador.	25
Tabla 9. Procesos de reciclaje de residuos. Ribera.	27
Tabla 10. Reciclaje de efluentes líquidos de la etapa de curtido	30
Tabla 11. Reciclaje de efluentes líquidos de la etapa de post-curtido	32
Tabla 12. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de pelambre.....	34
Tabla 13. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de descarnado.....	36
Tabla 14. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de dividido	37
Tabla 15. Procesos de reciclaje para residuos sólidos del proceso de rebajado.....	39
Tabla 16. Procesos de reciclaje para residuos sólidos del proceso de acabado	41
Tabla 17. Reciclaje de residuos de curtiembres ecuatorianas	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de curtido del cuero.....	8
Figura 2. Comparación del porcentaje de curtiembres (a) antes y (b) después de la pandemia del COVID-19.	17

RESUMEN

Las curtiembres son industrias cuya actividad principal es el curtido de pieles, con la finalidad de obtener productos de valor comercial como: bolsos, zapatos, carteras, chaquetas, cinturones, etc. El proceso de curtido del cuero genera residuos sólidos, gaseosos y líquidos, siendo los residuos sólidos y líquidos los más abundantes. Estos son descargados a recursos hídricos y rellenos sanitarios, debido a compuestos tóxicos contaminan estos ecosistemas provocando la muerte de su flora y fauna. Por tanto, es importante la aplicación de procesos de reciclaje y reutilización de los residuos sólidos y efluentes líquidos de las tenerías para su aprovechamiento como materia prima para fabricar productos de valor agregado y el reúso de las mismas aguas residuales para el proceso de curtido. La base de este proyecto de investigación consta en la recopilación de información utilizando los softwares Connected-Paper y RedCube-Paper donde se pudo encontrar que los residuos sólidos se utilizaron para la producción de pegamentos, hidrolizado de colágeno, producción de gelatina y aminoácidos, biocombustibles, engrase para cueros y biogás, mientras que, de los efluentes líquidos se recupera cromo para transformación en sales de cromo reutilizadas como agente curtiente, motivo por el cual el presente proyecto tiene por objetivo la viabilidad de aplicación de estrategias de procesos de reciclaje y reutilización que se utilizan a nivel mundial para los residuos sólidos y efluentes líquidos generados por las curtiembres ecuatorianas, promoviendo la reducción de estos desechos y la disminución del impacto ambiental causado por los mismos en el Ecuador.

Palabras clave: Investigación bibliográfica, curtiembres, gestión de residuos, impacto ambiental, residuos industriales.

ABSTRACT

Tanneries are industries whose main activity is leather tanning, to obtain products of commercial value such as: bags, shoes, wallets, jackets, belts, etc. The leather tanning process generates solid, gaseous, and liquid waste, with solid and liquid waste being the most abundant. These are discharged into water resources and landfills; due to toxic compounds they contaminate these ecosystems causing the death of their flora and fauna. Therefore, the application of recycling processes and reuse of solid waste and liquid effluents from tanneries for their use as raw material to manufacture value-added products and the reuse of the same wastewater for the tanning process. The basis of this research project consists in the collection of information using the Connected-Paper and RedCube-Paper software where it was found that the solid waste was used for the production of glues, hydrolyzed collagen, production of gelatin and amino acids, biofuels, fatliquoring for leather and biogas, while chrome is recovered from liquid effluents for transformation into chrome salts reused as a tanning agent, which is why this project aims to make the feasibility of applying recycling and reuse process strategies that are used worldwide for solid waste and liquid effluents generated by Ecuadorian tanneries, promoting the reduction of these wastes and the reduction of the environmental impact caused by them in Ecuador.

Keywords: Bibliographic research, tanneries, waste management, environmental impact, industrial waste.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Las curtiembres se dedican a la transformación de la piel de animales en artículos de utilidad en las diferentes actividades humanas (Verma et al., 2019). El comercio del cuero está dominado por China quien en 2020 acaparó el 25% de la producción anual de cuero, seguido de Brasil con el 10% y el 7% producido por Rusia, Italia e India (Hansen et al., 2021; Vera et al., 2022). Se estima que por el cuero terminado se generan ganancias entre de US \$ 100 mil millones (Saxena et al., 2020) y US \$ 414 000 millones por año (Vera et al., 2022) a nivel mundial. En Sudamérica Brasil mueve alrededor de US\$ 3 mil millones al año gracias a la actividad de las curtiembres (Klein et al., 2022; Riguetto et al., 2020) y Ecuador el sector manufacturero de cuero aporta alrededor de \$110 millones anuales con más de 100 mil plazas de empleo (INEN, 2018).

En el curtido del cuero se utilizan cantidades entre 50 y 150 litros de agua para procesar cada tonelada de cuero crudo (Yuvaraj et al., 2020) y un aproximado de 8600 litros por tonelada de cuero rapado. Los procesos de curtido generan aguas con sangre, grasa, proteínas, cal, nitrógeno orgánico y amoniacal, ácidos orgánicos y metales pesados (Parisi et al., 2021). Se ocupa entre 300 y 800 kg de productos químicos para procesar una tonelada de cuero según el requerimiento de cada industria (Basaran et al., 2018; Klein et al., 2022; Maraz, 2021), lo que produce un total aproximado de 800 kg de residuos sólidos que consisten principalmente en descarnado, virutas de cromo, restos de piel, grasas y polvos de pulido (Hansen et al., 2021; Yan et al., 2020). Esta actividad genera alrededor de 4500 000 toneladas al año de desechos sólidos (Kong et al., 2020; Puhazhendi et al., 2022).

De las investigaciones realizadas sobre los procesos de reciclado y reúso de los desechos provenientes de curtiembres ; en India se desarrolló un proceso que consiste en obtener un agente re-curtiente a partir de residuos de descarnado y aplicarlo en el mismo proceso de fabricación del cuero aprovechando al máximo los residuos sólidos

(**Puhazhendi et al., 2022**); en China un estudio plantea el uso de hidrolizado de colágeno para minimizar la cantidad de cromo presente en los lodos de curtiduría para estos a su vez ser usados como compost (**Shuyi et al., 2022**); en Brasil se desarrolló un estudio sobre la incorporación de wet-blue en una matriz polimérica de polipropileno que contribuyo al aumento de la resistencia del mismo presentándose como una solución para el reciclaje de estos residuos (**Rizzato et al., 2020**).

En Ecuador un estudio impulsa la producción de alimento balanceado para mascotas a partir de residuos generados de curtiduría en la etapa de dividido y descarte ya que estos residuos tienen alto contenido de proteínas, grasas y minerales (**Rivera et al., 2020**). Sin embargo, no existen estudios objetivos en profundidad para el aprovechamiento máximo de este tipo de residuos (**Mpofu et al., 2021**). Además, se encontró que las medianas y pequeñas curtiembres son las más contaminantes (**González et al., 2017**). Por tanto, es importante buscar métodos de reciclaje y reúso viables para los desechos sólidos y efluentes líquidos de curtiembres para poder aplicarlos en las industrias nacionales.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Proponer estrategias actuales que ayuden a reciclar residuos sólidos y efluentes líquidos de curtiembres nacionales que son utilizadas actualmente a nivel internacional.

1.2.2. Objetivos específicos

- Examinar el impacto ambiental provocado por los residuos de curtiembres a nivel mundial, utilizando los softwares Connected-Paper y RedCube-Paper.
- Determinar el número de curtiembres que siguen activas en el país, la cantidad de residuos que producen y el manejo de estos residuos a partir de información encontrada en bases de datos gubernamentales.
- Buscar procesos de reciclaje de desechos sólidos y efluentes líquidos resultantes de la fabricación del cuero, en revistas nacionales e internacionales de alto impacto indexadas en Scopus, para hacer un compendio actualizado sobre estas prácticas.
- Identificar los procesos de reciclaje y reúso que se están aplicando en las industrias de curtiembre ecuatorianas que aparecen en el último informe de la Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua y en otros reportes oficiales del gobierno.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Selección de bibliografía

Para el presente trabajo se buscará información actual de los últimos cinco años, sobre el tema reciclaje y reúso de residuos de curtiembres, en bases de datos como: Koha, E-book, Scopus-Elsevier, Springer-Link, Research-Gate. Así también, se usarán revistas indexadas y Libros como: *Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants (Dhiman & Mukherjee, 2021)*.

2.2. Selección de publicaciones en revistas indexadas y reportes gubernamentales

Se utilizará el software Connected Paper y RedCube Paper para encontrar correlación de información sobre el tema, este software trabaja realizando conexiones de similitud entre artículos, generando un gráfico con nodos y extensiones de documentos relacionados con un determinado tema; la métrica de similitud del software se basa en conceptos de co-citación y acoplamiento bibliográfico (*Tarnavsky et al., 2019*).

Para el uso de este programa se realizará los pasos detallados a continuación:

- a. Ingresar al sitio web con el nombre del programa.
- b. Insertar el tema de interés, en esta ocasión: curtiembres, procesos de reciclaje para desechos provenientes de curtido del cuero, desechos sólidos de curtiduría y efluentes líquidos de curtiduría.
- c. Elegir de la red de documentos generados, los nodos con color azul más intenso y con información de los últimos cinco años.
- d. Finalmente, seleccionar los artículos con mayor relevancia sobre el tema.

La herramienta digital RedCube Paper, por medio de una estrategia organizacional, logra encontrar documentos con relación de contenido sobre un tema en específico, además permite insertar citas bibliográficas de un artículo o artículos de interés dentro de una biblioteca personal y puede reconocer de forma rápida si un documento está en una biblioteca compartida (*Digital Science & Research Solutions, 2021*).

Para usar este programa se siguen los siguientes pasos:

- a. Ingresar al sitio web RedCube Paper.
- b. Escribir las palabras claves: curtiduría, procesos de reciclaje y reúso para desechos de curtiduría, desechos sólidos de curtiembre y efluentes líquidos de curtiembre.
- c. Buscar los artículos con mayores citas bibliográficas y de los últimos cinco años sobre procesos de reciclaje y reutilización de residuos de curtiembres.

Para explicar la realidad de las curtiembres ecuatorianas a fecha actual se buscará información actualizada en las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Instituto Nacional de Normalización (INEN), Servicio de rentas internas (SRI) y la Superintendencia de Compañía (SC).

2.3. Organización de la información

Se empleará el gestor bibliográfico Mendeley para organizar la información según el tema, año, autor, revista o libro haciendo más fácil la búsqueda del material de interés.

2.4. Búsqueda de procesos eficaces para el reciclaje de residuos

Para encontrar los procesos más viables en la reutilización y reciclaje de residuos provenientes de curtiembres, es necesario dividir el contenido en dos categorías: la primera se enfoca en buscar procesos para el reciclaje de residuos sólidos como: wet-blue, restos de carne, pelo, retazos de piel y polvos de pulido (**Salimin et al., 2020**) y la segunda se enfoca en procesos para la reutilización y reciclaje de efluentes líquidos generados por los principales procesos de ribera, curtido, post-curtido y acabado, de los cuales provienen aguas residuales con sangre, grasa, proteínas, sulfuros, cal, nitrógeno orgánico y amoniacal, ácidos orgánicos y las principalmente aguas contaminadas con cromo (**Sadeghi et al., 2022**).

2.5. Resumen de la bibliografía encontrada

Se resumirá la actualidad de las curtiembres en Ecuador, sus niveles de producción, su afectación al ambiente y los procesos empleados para reducir la contaminación. En

una segunda parte se determinarán los mejores procesos para el reciclaje y reúso de los residuos sólidos y efluentes líquidos generados por las curtiembres, el resultado final será una síntesis coherente con los datos bibliográficos consultados sobre los respectivos procesos utilizados tal que puedan ser aplicados en curtiembres nacionales.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN,

3.1. Introducción

Las curtiembres son industrias cuya actividad principal es el curtido de pieles, con la finalidad de obtener productos de valor comercial como artículos de vestimenta, bolsos, zapatos, carteras, chaquetas, cinturones, etc. (Faiz & Azhari, 2020). La calidad del cuero depende de las propiedades de la piel, el tipo de animal, raza, edad, nutrición, composición, sexo, momento de muerte y las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos los diferentes tipos de animales de los cuales se extrae la piel (Maraz, 2021). Las pieles en bruto pasan por las etapas de: remojo, pelambre, descarnado, dividido, desencalado, piquelado, curtido, escurrido, rebajado neutralizado, blanqueado, teñido, engrasado y secado (Verma et al., 2019), como se puede observar en la figura 1 todas las etapas de curtido ocupan químicos como el cromo, amoníaco y otros metales pesados dañinos para la salud y el medioambiente (Yoseph et al., 2020).

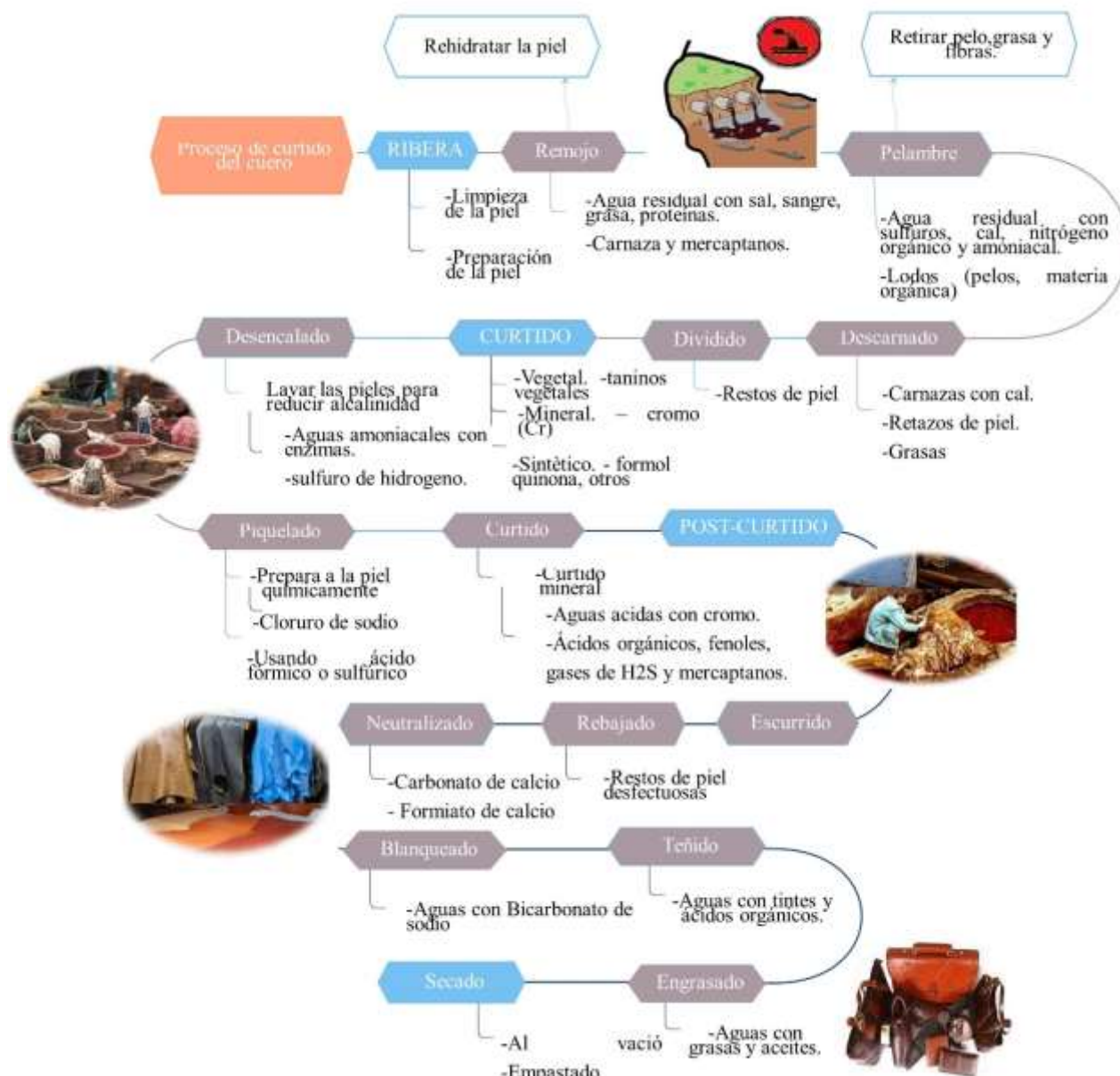


Figura 1. Proceso de curtido del cuero. Etapas del curtido del cuero y los residuos generados en cada una

Elaboración propia basada en el artículo sobre proceso tradicional del curtido del cuero (Uus, 2019).

El pretratamiento, se realiza para conservar las pieles por un tiempo determinado evitando que se degraden. En el proceso de ribera, se realiza la limpieza de la piel y se prepara para la siguiente etapa, el curtido, donde se logra estabilidad química y física al cuero evitando su putrefacción (Tasca & Puccini, 2019). Finalmente, en el post

curtido se retira la humedad, se da suavidad, color y varias características solicitadas según la demanda del mercado (**Parada et al., 2021**). Además, se puede identificar que los procesos de pre-curtido y curtido utilizan entre 300 y 800 de kg de reactivos por cada 1000 kg de cuero, estos agentes curtientes no se aprovechan en su totalidad y son los que generan entre el 80 y 90% de la carga tóxica contenida en sus residuos (**Faiz & Azhari, 2020**), dando como resultado aguas residuales con el 60% de productos curtientes (**Maraz, 2021**).

El curtido al cromo es el más empleado por las curtiembres por su fácil manejo, alta estabilidad térmica, menor tiempo de producción y propiedades viables de aplicación de este metal (**Oruko et al., 2020**). Utilizando el cromo como agente curtiente da como resultado una piel suave al tacto, flexible, duradera y con color constante que no se degenera con el tiempo (**Maraz, 2021**). Sin embargo, el curtido al cromo es la operación más contaminante durante el proceso de elaboración del cuero (**Kiraye et al., 2018**).




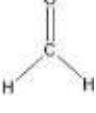
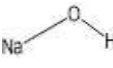
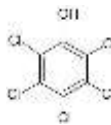


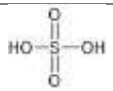
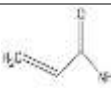
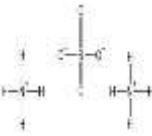
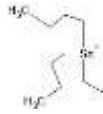

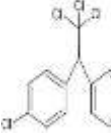
3.2.Examen del impacto ambiental provocado por los residuos de curtiembres a nivel mundial.

Mediante el uso del software Red-Cube Paper se encontró 30 artículos sobre el impacto ambiental provocado por los residuos de curtiembres en diferentes partes del mundo y con el software Connected Paper se encontró 20 artículos referentes a la contaminación causada por los residuos de la industria de curtiduría a nivel mundial. Tras el análisis de información de los 50 artículos obtenidos se eligió un total de 27 artículos que contenían la información más relevante y datos de interés como la generación de residuos sólidos y efluentes líquidos y el efecto negativo que producen al ambiente por parte de la industria del cuero (**Kadathur et al., 2022**), este efecto negativo hacia el medioambiente coloca a las curtiembres entre las diez principales industrias más contaminantes del mundo (**Mahalakshmi et al., 2020**). En los últimos años el número de medianas y pequeñas curtiembres ha tenido un crecimiento en el sector cuero en los diferentes países, pero debido a su falta de responsabilidad social corporativa (RSC) y gestión ambiental de residuos las vuelve una amenaza para el planeta y sus recursos (**Verma et al., 2019**).

3.2.1. Efluentes líquidos producidos por las curtiembres

El proceso de curtido de cuero requiere entre 50 y 150 litros de agua para procesar cada tonelada de piel cruda y genera un aproximado entre 30000 L y 50000 L al día de agua residual, este flujo puede variar según cada industria (**Chaudhary et al., 2017; Vera et al., 2022**). En cada etapa del proceso de curtido del cuero se generan aguas ácidas y aguas básicas contaminantes (**Purba, 2021**), debido al tipo de agentes químicos utilizados durante el proceso de curtiembre, los cuales se pueden observar en la tabla 1. Además, estas aguas residuales presentan un bajo contenido de oxígeno disuelto (OD), alta demanda química de oxígeno (DQO), alta demanda biológica de oxígeno (DBO), alto contenido de Sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales (ST) (**Salimin et al., 2020**) y alta concentración de metales pesados tóxicos para el medio ambiente y la salud humana (**Dhiman & Mukherjee, 2021**). Esto hace que la contaminación de cuerpos de agua vaya en crecimiento exponencial por los altos niveles de toxicidad de los efluentes líquidos de las curtiembres.

Tabla 1. Compuestos químicos tóxicos presentes en efluentes líquidos de curtiembres

Compuestos	Fórmula	Estructura química	Características	Compuesto	Fórmula	Estructura química	Características
Cloruro de sodio	NaCl		Agente químico para el curado de pieles en bruto (Maina et al., 2019)	Sulfato de cromo	Cr ₂ (SO ₄) ₃		Agente de curtido del cuero (Yorgancioglu et al., 2022)
Hipoclorito de sodio	NaClO		Agente rehidratante (Sawalha et al., 2019)	Formaldehído	CH ₂ O		Agente curtiende que da resistencia a las fibras de piel (Liu et al., 2020)
Hidróxido de sodio	Ca(OH) ₂		Agente alcalino para la hidrólisis de pelo (Kadathur et al., 2022)	Pentaclorofenol (PCP)	C ₆ Cl ₅ O		Agente curtiende para inhibir el crecimiento de microorganismos (Verma et al., 2019)
Sulfuro de sodio	Na ₂ S		Agente químico para remoción de pelo (Ferro et al., 2019)	Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃		Agente para blanqueado y procesos de basificación (Liknaw et al., 2017; Wang et al., 2021)
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄		Agente inorgánico para difusión del curtiende (Parada et al., 2021)	Acrilamida	C ₃ H ₅ NO		Uso para teñido de cuero (Wang et al., 2021)
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄		Elimina álcalis de la piel (Murshid et al., 2018)	Tributilestaño (TBT)	(C ₄ H ₉) ₃ Sn		Sustancia tóxica usada en pintura antiincrustante en el cuero (Bustos, 2020)
Amoniaco	NH ₃		Agente para remover la cal y el sulfuro (Sawalha et al., 2019)	Bifenilos policlorados (PCB)	C ₁₂ H _{10-n} Cl _n		Uso para el teñido de cuero (Yasir et al., 2021)

Elaboración propia basado en los artículos (Bustos, 2020; Ferro et al., 2019; Kadathur et al., 2022; Liknaw et al., 2017; Maina et al., 2019; Murshid et al., 2018; Parada et al., 2018; Sawalha et al., 2019; Verma et al., 2019; X. Wang et al., 2021; Z. Wang et al., 2021; Yasir et al., 2021; Yorgancioglu et al., 2022) y en el programa ACDSketch.

En la tabla 1 se observa los compuestos presentes en los efluentes líquidos de curtiembres; el cloruro de sodio se aplica a la piel cruda para deshidratar las fibras de colágeno y evitar la proliferación de bacterias, brindándole mayor resistencia a la putrefacción, este proceso se conoce como curado y es el más aplicado en la industria de curtiduría (Maina et al., 2019). El hipoclorito de sodio es un producto químico aplicado durante la etapa de remojo para eliminar sales, grasas, cloruros y materia orgánica. Mediante su adición en grandes cantidades de agua van rehidratando la piel

(**Sawalha et al., 2019; Saxena et al., 2020**), las aguas residuales generadas de estos procesos aumentan la cantidad de sólidos disueltos (TDS) y demanda química de oxígeno (DQO) (**Verma et al., 2019**).

El hidróxido de sodio y el sulfuro de sodio son utilizados en la etapa de pelambre para deteriorar el pelo incrustado en la piel del animal mediante hidrolisis disminuyendo su rigidez y resistencia permitiendo la separación del pelo (**Kadathur et al., 2022**); el sulfuro de sodio también ayuda a retirar la epidermis de la piel, dejando residuos de proteínas, grasas y sangre en el agua residual del proceso de pelambre (**Ferro et al., 2019**). El ácido sulfúrico prepara a la piel para que los agentes curtientes logren una difusión eficaz en su estructura interna sin que se adhieran a las capas externas (**Parada et al., 2021**). Los sulfuros se convierten en contaminantes altamente tóxicos para el cuerpo de agua receptor de estos efluentes líquidos y debido a la acidificación de estas aguas se forman compuestos azufrados que son dañinos para los peces y otros organismos (**Verma et al., 2019**).

El sulfato de amonio y sales de amonio son aplicados en el baño de desencalado para deshinchar y eliminar la alcalinidad de la piel, remover la cal y el sulfuro adheridos en las fibras y reducir el pH. El alto contenido de amoníaco en los efluentes de curtiembre se genera por las sales de amonio utilizadas y la putrefacción de las proteínas de la piel; esto incrementa la demanda biológica de oxígeno (DBO) por acción de reacciones de nitrificación las cuales generan productos tóxicos como el ion nitrito que penetra las membranas biológicas de seres vivos llegando a disminuir la respuesta del sistema inmune de estos organismos y por consiguiente induce a la aparición de patologías y posterior muerte de organismos acuáticos (**Murshid et al., 2018**).

El sulfato de cromo es un agente curtiente utilizado para convertir la piel en cuero, este agente químico acciona penetrando en la matriz de colágeno distribuyéndose de forma uniforme por toda la superficie de la piel y posteriormente se une a los sitios activos del colágeno, causando entrecruzamiento entre sus fibras y como resultado se obtiene un cuero color azul denominado “ wet-blue” (**Maraz, 2021; Sawalha et al., 2019; Yorgancioglu et al., 2022**), los compuestos a base de cromo son los agentes curtientes más aplicados en las tenerías con un 85% y 90%; el problema radica en que entre el 30% y 40% del cromo no aprovechado se eliminará en las aguas residuales de curtiduría (**Zhaldak et al., 2021**), y debido a su poder oxidante, baja degradación y

capacidad de atravesar membranas biológicas de seres vivos se vuelve altamente peligroso para la vida microbiana, vegetal y acuática (**Rimawi et al., 2020**). Además del sulfato de cromo, el formaldehído y el pentaclorofenol (PCP) también son aplicados como agentes curtientes que reaccionan con las proteínas de la piel estabilizándolas y aumentando la resistencia de esta a la putrefacción mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Los residuos generados de estos compuestos son resistentes a la biodegradación produciendo efectos negativos en flora y fauna de los ecosistemas donde son descargados y en el caso del PCP produce la inhibición de la fosforilación oxidativa e inactivación de enzimas encargadas de la respiración causando así daño mitocondrial en los seres vivos (**Liu et al., 2020; Verma et al., 2019**).

El bicarbonato de sodio es utilizado para blanquear el cuero, para que adquiera suavidad y flexibilidad lo que lo vuelve ideal para el proceso de teñido, además de que aporta a su preservación evitando la proliferación de bacterias, también incrementa la alcalinidad de las soluciones de sulfato de cromo que ayuda a estabilizar las fibras de colágeno (**Liknaw et al., 2017**). La acrilamida es un polímero anfótero aplicado en el proceso de post-curtido por su capacidad de mejorar la adsorción de tintes en el proceso de teñido del cuero, además de tener propiedades antibacterianas (**Wang et al., 2021**). El tributilestaño y los bifenilos policlorados (PCB) son químicos tóxicos utilizados como pintura antiincrustante en el proceso de curtido de cuero cumpliendo su papel como fungicida y bactericida protegiendo al cuero del ataque de hongos y bacterias (**Bustos, 2020; Yasir et al., 2021**). Estos contaminantes alteran las reacciones químicas, procesos y actividades enzimáticas que se producen en los ecosistemas acuáticos y del suelo provocando un impacto negativo en los organismos vivos que habitan en estos ecosistemas. La aparición de múltiples contaminantes disminuye el efecto de biorremediación natural accionada por las bacterias, por ejemplo, el PCB por su alto contenido de cloro hace que a los microorganismos se les dificulte su degradación (**Bustos, 2020**).

Las aguas residuales de tenería se caracterizan por ser de naturaleza ácido-básica, los efluentes con naturaleza ácida contienen cromo, cloruros, compuestos nitrogenados, sulfatos y sulfuros, estos compuestos químicos reaccionan con metales pesados como el mercurio, cadmio, cobre, bario, plomo, selenio, zinc, níquel, manganeso, hierro,

aluminio, antimonio y cromo (**Sadeghi et al., 2022; Zaheer et al., 2020**); todos estos metales pesados se sedimentan produciendo un precipitado marrón oscuro que limita la oxidación anaeróbica y al ser de naturaleza bio-acumulativa causa eutrofización reduciendo la penetración de la luz solar en los recursos acuáticos, lo que a su vez disminuye la actividad fotosintética y la concentración de oxígeno disuelto (OD) esto afecta la velocidad de oxidación de la materia orgánica por los microorganismos acuáticos (**Butt et al., 2021; Saxena et al., 2020**). La alcalinidad de los efluentes líquidos de curtiembre es resultado del uso de bases como el hidróxido y el bicarbonato de sodio los cuales incrementa la concentración de iones metálicos produciendo una alta conductividad creando desequilibrio en la disponibilidad de metales necesarios para la flora y fauna de los ecosistemas receptores para su buen funcionamiento provocando baja biodegradabilidad de residuos (**Sawalha et al., 2019; Verma et al., 2019; Yasir et al., 2021**). Además, el índice de toxicidad de las aguas residuales de curtiembres se incrementa debido al cromo, este metal es el más peligroso presente en las aguas residuales de tenería en su forma trivalente y hexavalente, siendo esta última la más tóxica por su carácter cancerígeno (**Salimin et al., 2020**).

Todos estos factores hacen que exista en los efluentes líquidos de curtiembres una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), gran cantidad de sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (DS) y sólidos totales (ST) (**Kadathur et al., 2022**), estos parámetros son indicadores de la toxicidad en las aguas residuales de curtiduría mismos que causan un impacto ambiental negativo tras su descarga y en el caso del ser humano la exposición prolongada a los metales pesados presentes en los efluentes líquidos de curtiembre provoca daño en la función nerviosa del cerebro, células de la sangre, riñones, hígado, pulmones entre otros órganos vitales importantes (**Shukla et al., 2021**).

3.2.2. Residuos sólidos producidos por las curtiembres

Los desechos sólidos son el resultado del procesamiento dado a las pieles en bruto tratadas con agentes químicos como la cal, sulfuros, sales de amonio, cromo, entre otros (Tang et al., 2021). Se necesitan cerca de 1000kg de cuero o pieles saladas para producir entre 150 y 200 kg de cuero terminado y generar entre 600 y 850 kg de desechos sólidos (Basaran et al., 2018; Li et al., 2019; Parisi et al., 2021), en mayor cantidad los restos de carne, pelo, restos de piel, grasas, polvos de pulido y el wet-blue (Vallejo et al., 2019), como se puede observar en la tabla 2. Todos estos residuos se caracterizan por afectar al recurso suelo y agua.

Tabla 2. Residuos sólidos provenientes de curtimbres

Residuo sólido	Etapas	Características
Pelo	Pelambre	Presenta mayor contenido de queratina (Thankaswamy et al., 2018)
Carnaza	Descarnado	Alto contenido de grasa y proteína, en menor cantidad sangre (Hashem et al., 2021)
Restos de piel	Dividido	Contiene grasas, agua y proteína, alto contenido de colágeno (Tang et al., 2021)
Virutas de cromo	Rebajado	Cuero curtido con concentración de cromo (Agustini et al., 2020)
Polvos de pulido	Acabado	Material volátil con contenido de cromo y compuestos tóxicos (Ayele et al., 2021a)

Elaboración propia basado en los artículos (Agustini et al., 2020; Ayele et al., 2021b; Hashem et al., 2021; Tang et al., 2021; Thankaswamy et al., 2018).

En la tabla 2 se clasifica los residuos sólidos de la curtiembre; el pelo es obtenido del proceso de pelambre por acción de químicos como el hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, este residuo contiene entre el 90% a 97% de queratina, 2% de grasa y el porcentaje restante son carbohidratos y sales inorgánicas (Souza et al., 2022). El porcentaje proteico del pelo hace que este residuo tenga baja biodegradabilidad, pues la queratina tiene alto contenido de azufre y es resistente a enzimas proteolíticas, este residuo incrementa la concentración de DBO, DQO, DS y sulfuros lo que lleva a la contaminación del suelo (Thankaswamy et al., 2018).

La carnaza extraída en el proceso de descarnado está compuesta entre 30 a 40% de grasas, un 12% de proteínas; este residuo sólido de curtiembre es el más abundante y

ocupa entre el 50 a 60% de todos los residuos sólidos sin curtir (**Hashem et al., 2021**). Los restos de piel se obtienen en el proceso de dividido estos son sólidos orgánicos compuestos por el 90% de colágeno y 10 % impurezas y representan entre el 5-7% del total de residuos sólidos (**Tang et al., 2021**). El descarnado y dividido producen residuos de grasas, sangre, proteínas y fibras de colágeno que aumentan la concentración de SS y ST incrementando la cantidad de materia orgánica produciendo un olor putrefacto tras su descomposición (**Kadathur et al., 2022; Li et al., 2019**).

Las virutas de cromo o wet-blue son residuos sólidos curtidos con sulfato de cromo que tienen un alto contenido de humedad (**Agustini et al., 2020**), generados en el proceso de rebajado donde se obtiene aproximadamente 125 kg por cada tonelada de piel procesada (**Hansen et al., 2021; Vallejo et al., 2019**), representando casi el 30% del total de residuos sólidos generados (**Parisi et al., 2021**). El wet-blue debe su toxicidad a la presencia de cromo que está unido a las moléculas de colágeno, este agente químico es capaz de causar la inhibición de la síntesis de enzimas y ácidos nucleicos en los seres vivos y mutaciones en células humanas que pueden conducir al cáncer, además a pH ácido de estos residuos afecta al microbiota natural del suelo (**Rimawi et al., 2020; Shukla et al., 2021**).

Los polvos de pulido se generan en el proceso de acabado que se realiza para eliminar restos de tintes, dar suavidad y brillo al cuero. Estos residuos sólidos junto con recortes, afeitado y división de partes defectuosas del cuero generan una biomasa que tiene alto contenido de metales pesados como cromo, mercurio, sodio, níquel, cobre, etc. Y compuestos tóxicos como sulfuros, sulfatos, sales de amonio, entre otros, que son nocivos para el medio ambiente y la salud (**Ayele et al., 2021**).

Los residuos sólidos de las curtiembres causan un impacto negativo a los ecosistemas suelo y agua, puesto que, su acumulación causa reducción de la alcalinidad del suelo e inhibición de la germinación de semillas, volviendo al suelo inerte evitando su uso en agricultura u otro fin; además puede causar toxicidad grave en los seres vivos tras una exposición prolongada a estos desechos (**Saxena et al., 2020**). Por otro lado, los residuos sólidos al tener altas concentraciones de compuestos químicos tóxicos como sulfuros, nitritos, nitratos, cloruros, compuestos fenólicos, cromo, etc. son contaminantes para el ecosistema acuático provocando eutrofización (**Zhao & Chen,**

2019), lo que lleva a buscar formas de reutilización y reciclaje de estos desechos sólidos aprovechando los productos de alto valor no utilizados (Khambhaty, 2020).

3.3. Identificación de curtiembres que siguen activas en el país.

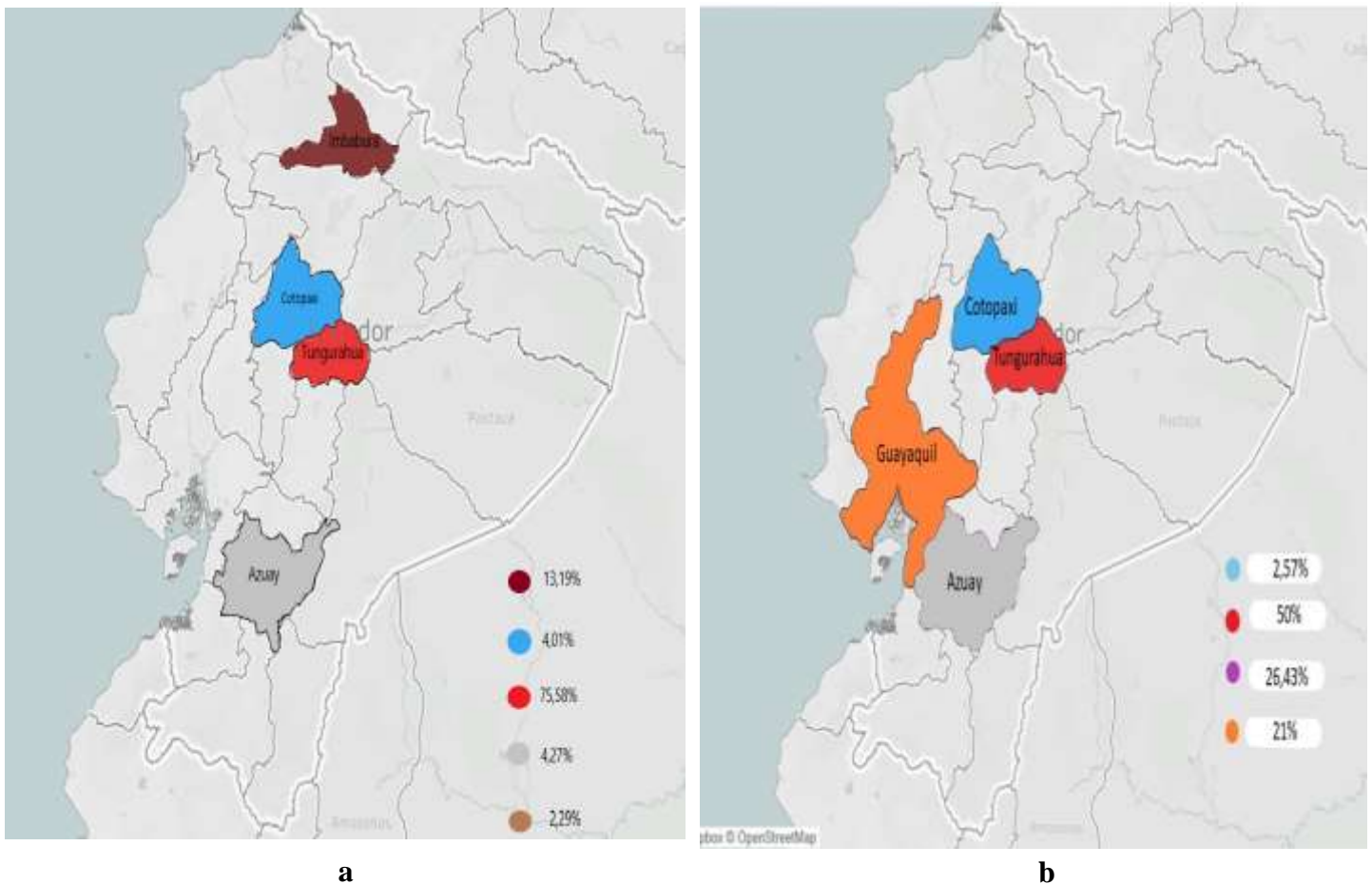


Figura 2. Curtiembres en Ecuador (a) antes y (b) después de la pandemia del COVID-19. Elaboración propia utilizando el programa Tableau 2022. Basado en el artículo (Masabanda et al., 2017) y en el reporte de (Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022), (Vásquez, 2014).

En el Ecuador mediante investigación bibliográfica se identificó que hasta 2019 existían aproximadamente 80 curtiembres entre grandes, medianas y pequeñas industrias, ubicadas en diferentes provincias del país (Silva & Salinas, 2022). En la figura 2 (a) se puede identificar las provincias donde efectuaban sus actividades las tenerías antes de la pandemia mundial del COVID-19; en el año 2017 se realizó un catastro de curtiembres en la provincia de Tungurahua y se identificó un total de 57

industrias de curtido del cuero distribuidas en esta región teniendo una participación del 80 % de la producción del cuero a nivel nacional (**Masabanda et al., 2017**), haciendo de la provincia de Tungurahua un gran motor laboral en la actividad económica de producción del cuero, a la vez que se convierte en un factor generador de contaminación ambiental. El 20% restante se distribuye en varias provincias que no estaban contabilizados en las bases de datos estudiadas, se supone que por la gran informalidad de varias pequeñas curtiembres en este sector del país. Las actividades de las curtiembres en todo el país son un factor económico importante para la economía del Ecuador, según el Servicio de Rentas Internas (SRI) en 2019 se registró utilidades de \$22,6 millones de dólares y pérdidas de \$1,2 millones de dólares que no se habían registrado en los años 2016, 2017 y 2018 representando una disminución del 83% de las utilidades generadas por el sector cuero (**SRI, 2019**).

En la figura 2 (b) se encuentra la ubicación de las curtiembres activas entre grandes, medianas y pequeñas en la actualidad; según un análisis de la Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, se determinó que el 2,57% de las curtiembres están en la provincia de Cotopaxi, el 50% en la provincia de Tungurahua, el 26,43% en Azuay y el 21% en Guayaquil. Estos datos fueron obtenidos después de la pandemia mundial del COVID-19, gracias a la encuesta realizada por la Corporación de Desarrollo de Ambato y Tungurahua que ha aportado datos recientes sobre las actividades de las curtiembres en Ecuador luego de realizar encuestas a los encargados de cada empresa (**Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022**). Se puede observar que en la provincia de Tungurahua es donde laboran el mayor número de curtiembres, todas las empresas encuestadas coincidieron en que tuvieron pérdidas económicas graves debido a la disminución del número de trabajadores, escasez de materia prima y reducción en las ventas. Como resultado se presentaron problemas operativos en la producción del cuero y la disminución de la demanda en un 54,35% postpandemia, esto sumado a la incapacidad para entregar pedidos y dificultad para solicitar financiamientos hace que no sea posible estimar el tiempo de recuperación de estas industrias (**Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022**). Por esta razón varias de las curtiembres quebraron y fueron disueltas después del año 2020.

Las tenerías que aún siguen activas se encuentran registradas en la Superintendencia de Compañías del Ecuador como se las puede observar en la tabla 3 (**SC, 2022**).

Tabla 3. Curtiembres registradas en la Superintendencia de Compañías después pandemia

Curtiembre	Ubicación	
CURTIEMBRE RENACIENTE S.A.	Azuay	Descarnadura, tundido, depilado, engrase, curtido, blanqueo, teñido, adobo de pieles y cueros de pieles finas y cueros con pelo
TENERIA SAN JOSE C LTDA	Tungurahua	Procesamiento de pieles y otros elementos naturales o sintéticos para la fabricación de suelas, rusos, napa, gamuza y, en general, todo tipo de cuero.
TENERIA NEOGRANADINA BENEFICIADORA DE CUEROS S.A.	Tungurahua	Fabricación de cuero y productos conexos.
TENERIA DIAZ CIA. LTDA.	Tungurahua	Procesamiento, producción, preparación, acabado y comercialización de pieles o cueros surtidos o no, en todas sus clases, así como también los subproductos derivados de la actividad de la tenería.
SUELA Y CUERO 999 C LTDA	Tungurahua	Implantación y explotación de curtiembres, la fabricación, elaboración, distribución y comercialización de toda clase de cueros, curtidos o no.
SERVICUEROS S.A.	Tungurahua	Procesamiento de todo tipo de pieles provenientes de animales; Industrialización y elaboración del cuero.
TENERIA NEOGRANADINA BENEFICIADORA DE CUEROS S.A.	Tungurahua	Fabricación de cuero y productos conexos.
INDUSTRIAS DEL CUERO ALDAS CURTIALDAS CIA.LTD	Tungurahua	Curtiembre y procesamiento e industrialización de todo tipo de pieles provenientes de animales.
CURTIDURIA TUNGURAHUA S. A	Tungurahua	Actividades de descarnadura, tundido, depilado, engrase, curtido, blanqueo, teñido, adobo de pieles y cueros de pieles finas y cueros con pelo.
CUEROSRA S. A	Guayas	Producción de pieles finas, producción de pieles, curtiembre, cueros de reptiles y plumas de aves como parte de la explotación pecuaria.
ECUATORIANA DE CURTIDOS SALAZAR SA	Cotopaxi	Actividades de descarnadura, tundido, depilado, engrase, curtido, blanqueo, teñido, adobo de pieles y cueros de pieles finas y cueros con pelo.

Elaboración propia basado en la Superintendencia de Compañías (SC, 2022)

Las curtiembres registradas en la Superintendencia de compañías (SC), son aquellas que cumplen con los respectivos permisos de funcionamiento, sin embargo varias de las curtidurías que estaban activas antes de la pandemia del COVID-19 registran su disolución y liquidación en la SC, debido al efecto negativo que tuvo la pandemia en estas industrias como se puede corroborar según el último boletín técnico del Instituto de estadísticas y censo (INEC) con los datos del índice de producción de la Industria Manufacturera (IPI-M) en septiembre del 2020 esta industria registró una variación anual de -5,62%, con una disminución de la producción respecto a septiembre 2019. El sector cuero destaco en los procesos de curtido y cuero artificial con un 91,02% de variación mensual positiva, sin embargo, existió una variación mensual negativa con la venta de productos para calzado con un valor de -77,12% (INEC, 2020). Estos

valores representan la afectación que tuvo la pandemia en las industrias de curtiduría, puesto que, el 56,58% de la producción de cuero es utilizado para la fabricación de calzado y al disminuir las ventas existe una disminución en los recursos financieros de las curtiembres (**Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022**), por ende, el quiebre o disolución de algunas de estas industrias.

3.3.1. Cantidad de residuos de curtiembres nacionales

Las curtiembres en el Ecuador realizan actividades de procesamiento de pieles en bruto para obtener cuero comercial usado en calzado, vestimenta, tapicería, entre otros, esta industria es un importante factor socioeconómico que aporta con plazas de empleo directo e indirecto además que beneficia la economía ecuatoriana aportando a las exportaciones de productos a otros países (**INEN, 2018**). Sin embargo, los procesos que se realizan para la obtención de cuero comercial dejan gran cantidad de residuos contaminantes como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Efluentes líquidos de curtiembres, por cada 1000 L de aguas residuales por unidad de cuero terminado

Etapa	Proceso	Parámetros para analizar en los Efluentes
Ribera	Remojo	Aguas residuales con sangre, proteínas, grasas, carne, pelo, sales, sulfuros y biocidas, cal, nitrógeno orgánico y amoniacal, DQO, SS, SD, pH básico.
	Pelambre	
Curtido	Desencalado	Aguas amoniacales, nitrógeno, DQO, SS, SD, enzimas.
	Piquelado	DQO, SD, sal, fungicidas, pH ácido.
	Curtido	Cromo (III) y Cromo (VI), taninos, sal, SS, DQO, DBO, OD, SD, pH ácido.
Post-curtido	Neutralizado	Agentes químicos como hidróxido de sodio.
	Teñido	Aguas con tintes, ácidos minerales, disolventes orgánicos.
	Engrasado	Compuestos orgánicos tensoactivos, grasas.
Acabado	Acondicionado	Aguas con tintes y aceites.

Elaboración propia basada en los artículos (Masabanda et al., 2017; Parada et al., 2019; Silva & Salinas, 2022)

En la tabla 4 se puede identificar los parámetros contaminantes presentes en las aguas residuales que genera cada proceso, las curtiembres nacionales utilizan un aproximado de 1000 L de agua por cada unidad de cuero terminado dejando un abundante volumen de aguas residuales y se estima que por cada kilogramo de piel se necesitarán 500 kg de agentes curtientes (Silva & Salinas, 2022), (Salimin et al., 2020). Las aguas residuales de las curtiembres nacionales producen contaminación ambiental por la presencia de químicos peligrosos en el proceso del curtido del cuero, puesto que, estos efluentes se caracterizan por tener altas concentraciones de metales pesados, en especial el cromo (Parada et al., 2019), pues el 93,48% de las curtiembres nacionales usan sales de cromo para curtir el cuero. En estas aguas residuales también contienen materia orgánica, biocidas, fungicidas, tensoactivos y tintes lo que lleva a que las aguas de tenería presenten parámetros peligrosos de Demanda química de oxígeno (DQO) , Demanda biológica de oxígeno (DBO), baja concentración de oxígeno disuelto (OD), Sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD) y sólidos totales (ST), los cuales terminan siendo tóxicos para la vida que habita en los ecosistemas donde son descargados (Masabanda et al., 2017).

Tabla 5. Residuos sólidos de curtiembres

Etapa	Proceso	Residuos	Cantidad
Ribera	Pelambre	Pelos y materia orgánica.	1614 kg
	Descarnado	Restos de carne y grasa	4843 kg
Post-curtido	Rebajado	Restos de piel, wet-blue	50kg
Acabado	Pulido y alisado	Polvos de pulido del cuero	25kg

Elaboración propia basada en el artículo (Masabanda et al., 2017)

Un ejemplo de una curtiembre que no aplica procesos de tratamiento de residuos antes de eliminarlos al ambiente es la curtiembre Aldas ubicada en Tungurahua, la cual genera un aproximado de 6532 kg por semana de residuos sólidos como restos de piel, descarnados, pelo, wet-blue y polvos de pulido, presentados en la tabla 5 (Falcón, 2017). Estos residuos al ser depositados sin previo tratamiento en rellenos sanitarios, cuerpos de agua y suelo, causan mal olor tras su degradación y debido a la enorme cantidad de materia orgánica no pueden ser degradados por los organismos vivos en el ambiente (Salimin et al., 2020). Los riesgos a la salud que representan los residuos

provenientes de las curtiembres son accidentes en el puesto de trabajo, inhalación de polvo e infecciones respiratorias por exposición a químicos fuertes como taninos, álcalis, ácidos, desinfectantes y disolventes, que son irritantes que causan afectaciones en la piel (Silva & Salinas, 2022).

3.3.2. Manejo de residuos en curtiembres de Ecuador

En Ecuador el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos en las curtiembres solo se realiza en las grandes industrias que quieren reducir las multas que les imponen el gobierno, el resto de las curtiembres son de tipo artesanal a pequeña escala, mismas que evaden los tratamientos y eliminan los residuos directamente al alcantarillado o los ríos aledaños. Por ejemplo, en Tungurahua de 20 curtiembres estudiadas, en el 2015, el 85% hace un tratamiento primario, el 10% hace tratamientos biológicos y completos de los residuos y el resto no hace ningún tratamiento. Esta poca preocupación de las curtiembres nacionales se suma a la inoperancia del MAE al realizar controles efectivos en este sector (Guajala, 2016). El manejo de residuos en las industrias del Ecuador está regulado por el Marco Normativo Ambiental vigente en el país regido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica que según la codificación de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental “La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje, reutilización de desechos y utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables respecto a las culturas y prácticas tradicionales” (MAATE, 2004). Además, existen regularizaciones sobre los límites máximos permisibles para las descargas de desechos al ambiente estipulados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) como se puede ver en la tabla 6.

Tabla 6. Límites permitidos para eliminación de residuos en las curtiembres ecuatorianas, TULSMA 2013.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	mg/l	0,3	Cr ⁺⁶ Hexavalente	mg/l	0,5
Sulfuros	mg/l	0,5	Sulfitos SO ₃	mg/l	2,0
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	1000	Nitritos y nitratos	mg/l	10
Cloruros (Cl ¹)	mg/l	1000	Cd-cadmio	mg/l	0,001
Amoniaco (NH ₃)	mg/l	0,02	Cu-cobre	mg/l	0,02
Hydrocarburos aromáticos policíclicos	mg/l	0,003	Hg-mercurio	mg/l	0,005
DBO	mg/l	100	Pb-plomo	mg/l	0,2
DQO	mg/l	200	Se-selenio	mg/l	0,01
ST	mg/l	1600	Zn-cinc	mg/l	5,0
SST	mg/l	100	Ní-niquel	mg/l	0,025
OD	mg/l	>6	Mn-manganeso	mg/l	0,1
Compuestos de fenólicos	mg/l	0,2	Fe-hierro	mg/l	0,3
Tensoactivos	mg/l	0,5	Al-aluminio	mg/l	0,1

Elaboración propia basada en la Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2013).

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes tiene como finalidad la prevención y control de la contaminación del recurso agua (TULSMA, 2013). Los parámetros de la tabla 6 son los límites de concentración máximos permitidos en aguas residuales de curtiembres según la norma mencionada. Los aceites y las grasas son materia orgánica presente en aguas residuales de curtiembres y no deben superar una concentración de 0,3 mg/l, porque si no se aumenta el DBO entre un 50 a 70% (Parada et al., 2021). Los sulfuros, sulfatos, sulfitos, cloruros si exceden las cantidades estipuladas reaccionan con metales pesados como el cadmio, cobre, mercurio, plomo, selenio, zinc, níquel, manganeso, hierro y aluminio (Zaheer et al., 2020), intoxicando el medio acuático y aumentando el DQO (Verma et al., 2019).

Tabla 7. Parámetros para descargas industriales al recurso suelo

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	mg/l	<4000	plomo	mg/l	150
fenoles	mg/l	5	selenio	mg/l	10
cobre	mg/l	91	zinc	mg/l	360
Cr ⁺⁶ Hexavalente	mg/l	1,4	cadmio	mg/l	10
mercurio	mg/l	10	Bifenilos policloradosPCBs	mg/l	33
níquel	mg/l	50	pH	mg/l	12

Elaboración propia basada en la Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS, 2006)

El amoníaco es un químico que se forma por la degradación de la piel; los nitritos y nitratos si exceden la concentración de 10mg/l son capaces de reducir el oxígeno disuelto (OD) en el agua y provocar eutrofización (**Murshid et al., 2018**). La oxidación de los compuestos fenólicos (conservantes, pinturas, resinas) puede inhibir procesos biológicos de los seres vivos; los tensoactivos son capaces de modificar la tensión superficial del agua disminuyendo la adhesión de partículas en la superficie (**Chaudhary et al., 2017**). Los sólidos totales (ST) son la cantidad de impurezas como sales orgánicas e inorgánicas ya sea de forma disuelta o suspendida, las altas concentraciones de ST causan contaminación al contener sustancias tóxicas que contienen hierro, manganeso, plomo, selenio, zinc, etc., los cuales son perjudiciales para la salud (**Kadathur et al., 2022**).

En los procesos llevados a cabo por las curtiembres nacionales el agente de curtido más utilizado es el cromo trivalente, sin embargo, puede transformarse por reacciones de oxidación en cromo hexavalente, siendo esta es su forma más tóxica; en la normativa ecuatoriana el cromo no debe exceder la concentración de 0,5 mg/l en las aguas residuales puesto que en su estado hexavalente presenta un carácter cancerígeno y mutagénico capaz de dañar las membranas biológicas y llegar a los ácidos nucleicos causando efectos negativos (**Guerrero et al., 2021**).

Según la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados los parámetros de descarga de residuos sólidos al suelo incluyen el control de niveles máximos de aceites y grasas, compuestos fenólicos, bifenilos policlorados, pH, concentraciones de metales pesados y cromo hexavalente

(VI) (TULSMA, 2006). Las curtiembres nacionales generan gran cantidad de residuos sólidos curtidos y sin curtir tales como restos de piel, carnazas, piel, polvos de pulido y el wet-blue (Kiraye et al., 2018). La disposición y acumulación de estos desechos en los rellenos sanitarios del país representan un problema ambiental, pues los restos de piel, pelo y carne son degradados y emanan gases tóxicos como el monóxido de carbono, además la gran parte de las sales utilizadas son depositadas en los residuos sólidos y al no ser tratados o eliminados están causando daños al recurso suelo y el ambiente en general. Estos desechos sólidos se llegan a convertir en lodos que obstruyen las tuberías por donde se transporta el agua para la agricultura, desestabilizan el pH del suelo y da como resultado una disminución en la eficiencia de este, en Ambato se está demostrando que los lodos del sistema de alcantarillado de la ciudad contienen niveles peligrosos de cromo que pueden generar graves problemas de salud a la ciudadanía (Verma et al., 2019).

Tabla 8. Análisis de aguas residuales de curtiembres descargados a cuerpos de agua dulce en el Ecuador.

Muestra tomada	Parámetros	Cantidad	Límite máximo permisible
Tungurahua (Pérez et al., 2022)	DQO	1072 mg/l	200 mg/l
	DBO5	124mg/l	100 mg/l
	OD	1.95 mg/l	>6 mg/l
	SST	6500 mg/l	100 mg/l
	Tensoactivos	2.16 mg/l	0.5 mg/l
	pH	5.34-3.98	6-9
Cotopaxi (Urrutia et al., 2022)	DQO	3020-3680 mg/l	200 mg/l
	DBO5	693-1494 mg/l	100 mg/l
	OD	0 mg/l	>6 mg/l
	Temperatura	17.7-20.3°C	±3 °C
	Tensoactivos	4.6-12 mg/l	0.5 mg/l
	pH	11	6-9

Elaboración propia basada en los artículos (Pérez et al., 2022; Urrutia et al., 2022)

En la provincia de Tungurahua se realizó un estudio en 2020 sobre la calidad del agua del río Ambato y se determinó mediante la toma de muestras en los puntos de Aguaján-Pasa; Parque del sueño; Socavón; Paso lateral y Viñas que existieron variaciones en la concentración de los parámetros DQO, DBO₅, OD, pH, SST y tensoactivos. Los valores obtenidos de cada parámetro estaban por encima de los valores máximos

permitidos en TULSMA, lo que indica que existe una contaminación causada por las aguas residuales de curtiembres vertidas al río Ambato sin previo tratamiento y que se acumulan en función del tiempo. Mediante encuestas realizadas a la población y al GAD de Ambato se determinó que las curtiembres son responsables del 30,51% de la contaminación del río. Los parámetros analizados de la tabla 8 presentan concentraciones mayores a las permitidas por la normativa ambiental del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), por esta razón los efluentes líquidos vertidos al ambiente sin previos tratamientos es una de las principales causas de la contaminación ambiental en la provincia de Tungurahua **(Pérez et al., 2022)**.

En un estudio realizado en una curtiembre ubicada en Salcedo-Cotopaxi en el mes de febrero del 2021 se identificó mediante un análisis de 20 muestras de agua residuales de la curtiembre muestreadas en diferentes horarios en los ríos: Najichi, Yanayacu, Salachi y Cutuchi que los valores de concentración obtenidos de los parámetros analizados de DQO, DBO₅ y tensoactivos variaron según el horario de funcionamiento de la tenería presentado mayor concentraciones en horas de la mañana; el OD y el pH se mantuvieron constantes los valores de concentración en el transcurso del día, los valores mencionados se pueden observar en la tabla 8 , los cuales son mayores a los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana para la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua dulce, estos datos representan un indicio de la contaminación generada por las curtiembres en el país. El único parámetro que no excedió el límite máximo permisible fue la temperatura, la cual se encontraba entre 17.7°C y 20.3 °C, sin embargo, el monitoreo constante de la calidad del agua residual de curtiembre descargada al medio acuático debe ser más controlado **(Urrutia et al., 2022)**. Estas investigaciones demuestran el poco o nulo tratamiento que realizan las curtiembres en el Ecuador y como se expuso en el inicio de esta sección son varias las causales que hacen que el tratamiento de residuos de las curtiembres sea prácticamente nulo en nuestro país.

3.4. Procesos de reciclaje de efluentes líquidos y desechos sólidos

3.4.1. Reciclaje de Efluentes líquidos

Tabla 9. Procesos de reciclaje de residuos. Ribera.

Etapa	Residuo	Reciclaje	País
Ribera	Aguas residuales con sangre proteínas grasas pelo sulfuros sulfatos cal nitrógeno orgánico amoniac	Reciclaje de partículas orgánicas de aguas residuales de tenería como aditivo de arcilla en la fabricación de ladrillos (Köseoglu et al., 2017)	Turquía
		Aplicación de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para la reutilización de aguas residuales de curtiduría (Fernández et al., 2022)	España
		Reciclaje de producto recuperado de aguas residuales del proceso de encalado de curtiduría utilizando un proceso de oxidación electroquímica fotoasistida (Selvaraj et al., 2020)	India
		Amoniaco de las aguas residuales de curtiembre utilizado para la preparación de un agente adsorbente (Cheng et al., 2021)	China
		Viabilidad de la recuperación de subproductos y el reciclaje de agua de pelambre mediante electrodiálisis (Tamersit et al., 2018)	Argelia
		Reciclaje de biocarbón derivado de lodos de encalado de curtiduría para la adsorción de cromo (Payel et al., 2021)	Bangladesh

Elaboración propia basada los artículos (Cheng et al., 2021; Fernández et al., 2022; Köseoglu et al., 2017; Payel et al., 2021; H. Selvaraj et al., 2020; Tamersit & Bouhidel, 2020)

Tras la búsqueda de información de artículos científicos sobre los procesos de reciclaje y reutilización de efluentes líquidos de curtiembres en todo el mundo, se encontró: un estudio en Turquía donde aplican la tecnología de coagulación-floculación asistida por clinoptiolita/poliacrilamida para recuperar partículas orgánicas como proteína, pelo y grasas de las aguas residuales tóxicas de curtiduría (TWW) mediante su sedimentación y posterior encapsulamiento para reemplazar la cantidad de arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos con el objetivo de mitigar los efectos negativos de las aguas residuales de curtiembres en el medioambiente. Los resultados obtenidos se dividieron en tres secciones: en la primera se determinó que a una concentración de 20g/l de clinoptiolita presenta mayor velocidad de sedimentación de materia orgánica de aguas de curtiembre, se analizó la turbidez en el sobrenadante del agua tratada y se observó

una disminución de esta tras la aplicación de este compuesto; en la segunda sección se estudió la sedimentación de las partículas orgánicas de TWW en presencia de clinoptiolita y floculantes, donde se utilizaron coagulantes poliméricos aniónicos, catiónicos y no iónicos, siendo el floculante de naturaleza catiónica la ayuda óptima coagulante para la clinoptiolita incrementando su capacidad de sedimentar las partículas más pequeñas y menos pesadas; finalmente se añade poliacrilamida para favorecer la formación de puentes entre partículas sólidas gracias a sus propiedades de adsorción. Este proceso de sedimentación sirve para recuperar las partículas sólidas de las TWW, encapsularlas y utilizarlas para la fabricación de ladrillo comercial; el ladrillo producido contiene un 10 % en peso de residuos sólidos de cuero que no afecta su calidad y no representa ningún riesgo para el medio ambiente (**Köseoglu et al., 2017**).

El estudio realizado en España sobre la aplicación de membranas de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI) a las aguas residuales de curtiembre tuvo como finalidad lograr la reutilización de estas aguas separando los sólidos en suspensión (SS), materia orgánica y en especial iones cloruros y sulfuros que no pueden ser eliminados mediante procesos fisicoquímicos y biológicos, para su reutilización en agricultura o en el mismo proceso de curtido del cuero. El estudio consistió en realizar el permeado de las aguas residuales de curtiembre en dos membranas de nanofiltración y en dos membranas de ósmosis inversa y determinar el índice de retención de los contaminantes, que según el análisis de los resultados se identificó que la retención de materia orgánica y SS fue igual en los dos tipos de membrana, sin embargo, para los iones de sulfato, magnesio y calcio la membrana de NF alcanzó solo un 80-90% de retención y mientras que la membrana de OI logró valores cercanos al 100%, referente al rechazo del DQO alcanzó un valor del 94% para el reciclaje total; además después de la limpieza realizada a las membranas se determinó que la permeabilidad de las membranas de osmosis inversa se restableció por completo y que permite obtener una recuperación superior al 90% del flujo tratado para su posterior reutilización, por tanto se concluyó que la ósmosis inversa es la técnica más factible para la reutilización de aguas de curtiembres (**Fernández et al., 2022**).

En la India se desarrolló el diseño de un método para eliminar los sulfuros, decolorar la materia orgánica y reducir la concentración de DQO de las aguas residuales de

curtiembre en ese país través de la oxidación de contaminantes con luz ultravioleta. Las muestras se analizaron después de ser sometidas al proceso de electro-oxidación fotoasistida y se logró la eliminación del DQO entre el 92% y el 93,5%. La concentración de sulfuros y el mal olor se redujeron, al igual que el color de las aguas residuales de encalado después de 3 h volviéndose agua clarificada, esta agua fue analizada y la concentración de sulfuros, cloruros y DQO del agua recuperada presentaron niveles bajos y permitidos por la normativa de la India, por tanto este estudio propone una nueva tecnología verde para lograr el reciclaje de los efluentes líquidos de curtiembres y su reúso en el proceso de curtido del cuero (**Selvaraj et al., 2020**).

En China se sintetizó un compuesto denominado óxido de grafeno magnético (GO/Fe₃O₄) a partir de coprecipitación con NH₃·H₂O obtenido de las aguas residuales de curtiembre, con el fin de eliminar el Cr (III) que es el principal contaminante de estas aguas. El óxido de grafeno es un compuesto adsorbente que gracias a su carga negativa le permite recolectar contaminantes concentrados como lo son los metales pesados, sumado a esto el sintetizarlo a partir de amoníaco hace que mejore su capacidad de adsorción obteniendo doble beneficio reciclando el amoníaco presente en aguas residuales de curtiduría y mejorando la capacidad de eliminación del Cr hasta un 95,69% y adsorber hasta 279,62 mg de este metal, además se puede recuperar el adsorbente y volver a utilizarlo gracias al NH₃·H₂O que es capaz de proteger los grupos funcionales del óxido de grafeno evitándoles daños, por tanto es una opción interesante el utilizar el amoníaco presente en aguas residuales de curtiduría para sintetizar compuestos de valor agregado (**Cheng et al., 2021**).

Según un estudio realizado en Argelia se propuso separar, concentrar, recuperar y reutilizar moléculas de bajo peso molecular como S₂⁻, OH⁻, Cl⁻, aminoácidos de alto peso molecular mediante la desalinización de aguas residuales de pelambre sometidas a doble membrana de intercambio iónico recubierta con una membrana de ultrafiltración (UF) impermeable que protege a la primera del ensuciamiento y retiene proteínas con carga negativa, tras someter las muestras de agua residual de curtiembre al proceso de filtración por membranas se obtuvo una eliminación selectiva de sulfuro, calcio y cloruro con el 72,3 %, 67 % y 62,5 % respectivamente, una remoción del DQO que confirmó la separación y concentración de materia orgánica de alto peso

molecular, el decremento en la conductividad, la ausencia de ensuciamiento de la membrana y la disminución del pH confirmo la valorización para la reutilización del agua tratada y aislamiento de materia orgánica con valor comercial como proteínas y péptidos (Tamersit et al., 2018).

En Bangladesh un estudio tuvo como objetivo obtener biocarbón de las aguas residuales de la curtiduría del proceso de encalado donde se genera gran cantidad de lodos, los mismos que fueron sedimentados, decantados, secados al sol. Una vez secos se molió los residuos en un molino rotatorio y se los mezcló para obtener el biocarbón, posteriormente se realizó la adsorción del cromo presente en las aguas residuales de curtiembre mediante el biocarbón, este proceso se aplicó por lotes utilizando una columna de lecho fijo, tras el análisis del agua tratada se determinó que la eliminación de los parámetros físico-químicos como el DQO, DBO y cloruros fue del 50,5%, 80,1% y 85,5% respectivamente y el Cr se recuperó en una cantidad de 69,37% tras su adsorción. Por tanto, el reciclaje de las aguas residuales de curtiembre para obtener productos como el biocarbón es de importancia, puesto que además de ser un agente adsorbente prometedor y un producto útil para la recuperación del Cr residual disminuye la concentración de contaminantes en las aguas que son descargadas al medio ambiente y por consiguiente reduce el impacto ambiental negativo (Payel et al., 2021).

Tabla 10. Reciclaje de efluentes líquidos de la etapa de curtido

Etapa	Residuo	Reciclaje	País
Curtido	Aguas con Cromo (III), cromo (VI) y taninos vegetales.	Reciclado y modelado de cromo como portador magnético para tratar las aguas residuales del curtido (Du et al., 2022)	China
		Recuperación de cromo a partir de lodos de aguas residuales de curtiembre mediante biolixiviación y su reutilización en el proceso de curtido (Hongrui et al., 2017)	China
		Proceso de electroflotación de membrana para la recuperación de cromo (III) reciclable del efluente de licor de curtiduría (Selvaraj et al., 2018)	India

Elaboración propia basada en los artículos (Du et al., 2022; Hongrui et al., 2017; Selvaraj et al., 2018)

El estudio realizado en China para incentivar el reciclaje de metales pesados presentes en aguas de curtiduría se enfocó en el cromo, puesto que es el más abundante en las corrientes de agua del proceso del curtido del cuero y el más peligroso; en las aguas residuales de curtiembre existe la presencia de lodos posterior a su tratamiento de floculación, el cromo se extrajo de estos lodos utilizando agentes alcalinos como el hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio, estos agentes inmovilizan el cromo

permitiendo su recuperación. El cromo (III) es el más utilizado como agente curtiente, este metal es un oligoelemento esencial del cuerpo para el metabolismo del glucosa en baja concentración, sin embargo puede transformarse a cromo (VI) que es su forma tóxica por su naturaleza mutagénica y cancerígena, por esta razón, el cromo trivalente presente en el lodo se oxidó a iones de cromo hexavalente, este Cr (VI) soluble en agua por lo que facilita su extracción y posterior conversión en productos de sal de cromo que pueden ser reutilizadas en el proceso de curtido de las pieles de animal; con una recuperación máxima de 99,12 % con el hipoclorito de sodio; además los lodos por separación magnética fueron recuperados para su reutilización en la adsorción de cromo reduciendo costos y siendo amigable con el ambiente **(Du et al., 2022)**.

La eliminación y reciclaje del cromo como agente re-curtiente es urgente para la economía de China, país que busca desechar las aguas residuales de curtiduría de manera segura evitando la acumulación de cromo y protegiendo la salud humana, la naturaleza, su flora y fauna, por tanto, este estudio se enfoca en el reciclaje del cromo y la obtención de un agente curtiente de Cr-Fe aplicando tecnología de biolixiviación, en este tratamiento se utilizaron bacterias autóctonas oxidantes de hierro y azufre que dieron como resultado la oxidación del hierro a Fe^{2+} en casi el 100% y la eliminación de Cr (III) en 95,6%, el Cr recuperado derivado del proceso de biolixiviación se reutiliza como agente curtiente en el proceso de curtido. Finalmente tras la realización de pruebas físicas, químicas y mecánicas realizadas al cuero sometido a estos dos agentes curtientes se determinó que el cuero curtido con cromo-hierro presento mayores ventajas en las propiedades de retraso del envejecimiento del cuero con el transcurso del tiempo, que el cuero curtido solo con cromo ,manteniendo a los cueros sin cambios significativos aportándoles mejor calidad, además de que se reduce la cantidad de Cr utilizado y por consiguiente la disminución del impacto negativo causado por este metal al medioambiente **(Hongrui et al., 2017)**.

En India se realizan varios estudios para el reciclaje y la reutilización de residuos de curtiembres, con el fin de alcanzar el uso de tecnologías verdes respetuosas con el ambiente y todo lo que lo rodea, por tanto, se desarrolló un proyecto que consta en la aplicación de un proceso de eletroflotación de membrana para la recuperación de cromo (III) del efluente de licor las aguas residuales de curtiembres, este proceso consta en someter el licor de curtido a un biorreactor de electro flotación utilizando

RuO₂/ TiO₂ y Ti como ánodo y cátodo , dividido en dos secciones en la primera se recuperó aproximadamente un 98% del Cr(III) del licro de curtido y este fue separado en la segunda sección por la membrana ,además este proceso es capaz de eliminar el Cr (III) sin oxidarlo a Cr(VI) y el Cr(OH)₃ recuperado es utilizado para el curtido de cuero de vaca (Selvaraj et al., 2018).

Tabla 11. Reciclaje de efluentes líquidos de la etapa de post-curtido

Etapa	Residuo	Reciclaje	País
Post-curtido	Aguas con ácidos minerales, disolventes orgánicos, metales pesados, tensoactivos, y grasas.	Reutilización del agua en el proceso de post-curtido: minimizando el impacto ambiental de la producción de cuero (Klein et al., 2022)	Brasil
		Recuperación de metales pesados de aguas residuales de tenerías y su posterior reutilización (Shukla et al., 2021a)	India
		Reciclaje de metales pesados tóxicos como materia prima para producir pigmentos y cerámicas (Verma et al., 2019)	India

Elaboración propia basada en los artículos (Klein et al., 2022; Shukla et al., 2021a; Verma et al., 2019)

En Latinoamérica Brasil es el país más destacado en la industria del cuero, motivo por el cual este país debe buscar formas de reciclaje de los residuos provenientes de las curtiembres para mitigar la contaminación ambiental provocada por las actividades de estas industrias, así se desarrolló un proyecto sobre la reutilización del agua residual del proceso de post-curtido, pues en este país la mayoría de las tenerías se concentran en las etapas de acabado del cuero, además este proceso consume 8,6 m³ por tonelada de cuero curtido y las aguas residuales son de baja biodegradabilidad y alta concentración de químicos contaminantes obtenidos de procesos anteriores, por esta razón estas aguas son más difíciles de reutilizar que las de ribera y curtido. El proyecto se enfoca en la reutilización de aguas residuales tratadas por el proceso de coagulación/floculación como efluente primario y después el agua final sea sometida a tratamiento biológico para reducir el consumo de agua y la descarga de aguas residuales; tras el análisis de las propiedades del agua tratada se demostró que es factible para su reutilización, además de que la evaluación organoléptica del cuero

confirma la calidad del cuero sometido a procesos con reutilización de efluentes **(Klein et al., 2022)**.

En India se desarrollaron dos proyectos sobre la recuperación y reutilización de metales pesados presentes en aguas residuales de curtiduría; el primer estudio se enfocó en la recuperación de sales de metales pesados para disminuir el impacto ambiental y reducir costos a las curtidoras, puesto que, en India existe un procesamiento anual de más de 500.000 toneladas de cueros y pieles que necesitan capital de inversión y generan gran cantidad de residuos tóxicos, por este motivo se utilizó una combinación de métodos de bioadsorción, filtración por membrana y tratamiento electroquímico para la recuperación de metales pesados como el cobre, cromo, plomo, níquel, calcio, entre otros; el proceso de bioadsorción dio un resultado del 86% de capacidad de remoción de metales pesados, la filtración por membrana presentó un 100% de eficacia y el tratamiento electroquímico > al 99% en eliminación de metales pesados, como resultado se determinó que la filtración por membrana deja libre metales pesados a las aguas residuales de curtiembre, las cuales pueden ser reutilizadas en el mismo proceso de curtido del cuero **(Shukla et al., 2021)**. Por otro lado los efluentes líquidos de curtiembres tienen alta concentración de metales pesados, estos pueden aislarse y utilizarse como materia prima para la producción de pigmentos y cerámicas utilizados en otras industrias; además de poder ser aplicados en la reducción catalítica para la producción de nitro fenol, este compuesto es aplicado en la síntesis de medicamentos como el paracetamol y se usa como precursor para la elaboración de fungicidas, estos resultados muestran la viabilidad que tiene la recuperación de metales pesados de aguas residuales de curtiembre y a su vez con su eliminación se logra mitigar la contaminación ambiental y reducir los problemas de salud que se presentan tras la exposición prolongada a estos metales **(Verma et al., 2019)**.

3.4.2. Reciclaje de residuos sólidos

Los residuos sólidos producidos en las etapas del curtido de cuero tratados de manera adecuada pueden incrementar las formas de reutilización y reciclaje, creando productos con valor añadido para revenderlos como materia prima minimizando el impacto ambiental y riesgo para la salud humana. Los residuos sólidos antes del curtido pueden ser reciclados para poder emplearlos en la obtención de abono, harina de alimento para animales, pegamentos, gelatina, etc., y los residuos sólidos del curtido se pueden utilizar para producir biogás, abono orgánico, biomasa, biodiesel etc. (Salimin et al., 2020). Para poder crear productos de valor agregado a partir de residuos sólidos de tenería, estos primero deben pasar por ciertas modificaciones físicas y químicas. Las carnazas representan entre un 20-35% del peso inicial de las pieles. Son tiras formadas de tejido adiposo, conjuntivo y muscular que pueden ser aprovechadas en el sector industrial.

Tabla 12. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de pelambre

Proceso	Residuo	Reciclaje	País
Pelambre	Pelo	Extracción de queratina de los residuos de pelo de pelambre de piel bovina (Souza et al., 2022)	Alemania
		Utilización eficaz de residuos de pelo de curtiduría para desarrollar un agente recurtiente de alto rendimiento para una fabricación de cuero más limpia (Kadathur et al., 2022)	India
		Degradación microbiana de los desechos de pelo animal de la industria del cuero para producir pegamentos, películas, aminoácidos, como serina, cisteína y prolina usando queratina (Thankaswamy et al., 2018)	India

Elaboración propia basada en los artículos (Kadathur et al., 2022; Souza et al., 2022; Thankaswamy et al., 2018)

En Alemania se realizó un estudio para el reciclaje del pelo de piel bovina eliminado en el proceso de pelambre, con el fin de reducir el impacto ambiental negativo causado por este residuo sólido debido a su alto contenido de proteínas que produce un volumen grande de carga orgánica difícil de biodegradar y por consiguiente produce efectos negativos al ambiente; por este motivo el estudio consistió en extraer queratina del pelo bovino mediante su hidrólisis con sulfuro de sodio e hidróxido de hidrógeno para

el aislamiento de la proteína , este proceso dio como resultado la recuperación de un 75% de queratina convirtiendo al pelo de ser un desecho a ser una fuente de proteína con valor industrial , además el reciclaje del pelo también brinda ventaja económica disminuyendo costos en el tratamiento de residuos de curtiembre y reduce los niveles de contaminación de estos (**Souza et al., 2022**).

La acumulación de residuos de pelo provenientes de curtiembre en India genera un impacto negativo en el desarrollo sostenible de la industria del cuero, por tanto, se desarrolló proyectos para el reciclaje de este residuo sólido; el primero consiste en producir un agente re-curtiente biodegradable a partir de los residuos de pelo, puesto que el uso de agentes curtientes sintéticos tóxicos liberan formaldehído el cual es dañino para el medioambiente y presente baja biodegradabilidad, por tanto los residuos de pelo fueron tratados mediante hidrólisis con agentes alcalinos y posteriormente fueron polimerizados con ácido metacrílico, esto dio como resultado la obtención copolímero de hidrolizado de queratina-ácido g-metacrílico (KH-g-MA), este compuesto se aplicó como agente re-curtiente en el curtido de pieles de ovejas y se obtuvo un cuero mejorando su resistencia, además las aguas residuales de los cueros tratados con KH-g-MA presentaron una reducción en las concentraciones de DQO, SST,SDT y ST demostrando así la viabilidad de aplicar este agente re-curtiente obtenido del reciclaje de los residuos de pelo de la industria curtiembre (**Kadathur et al., 2022**). El segundo estudio analizó el tratamiento de residuos de pelo mediante la degradación microbiana con una cepa de la bacteria *Brevibacterium luteolum*, esta fue capaz de hidrolizar el pelo en 72 h con un rendimiento entre el 80% y el 85, dando como resultado una degradación eficiente del pelo y esto a su vez permite producir productos de valor agregado, ya que la queratina extraída es utilizada en la elaboración de pegamentos, películas, aminoácidos, como serina, cisteína y prolina (**Thankaswamy et al., 2018**).

Tabla 13. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de descarnado

Proceso	Residuo	Reciclaje	País
Descarnado	Carnaza	Obtener un agente re-curtiente a partir de desechos de descarnado (Puhazhendi et al., 2022).	India
		Fabricación de compost a partir de residuos sólidos de descarnado (Hashem et al., 2021)	Bangladesh
		Reutilización de recursos de residuos sólidos de cuero para la extracción de aceite, elaboración de biocombustibles y engrases para cueros (Li et al., 2019)	China

Elaboración propia basada en los artículos (Hashem et al., 2021; Li et al., 2019; Puhazhendi et al., 2022)

En India se desarrolló un proyecto que incentiva al reciclaje de residuos sólidos de curtiembre, en este estudio se utilizó los restos de carne para la preparación de un agente re-curtiente aplicando dos pasos: el primero consta en hidrolizar la carnaza utilizando *Bacillus subtilisproteasa*, y posteriormente se realizó una polimerización con ácido metacrílico obteniendo un agente re-curtiente denominado polímero hidrolizado acrílico de descarnes (FHAP), que al ser implementado en el proceso de curtido del cuero le brinda mayor suavidad, mayor firmeza y mejoramiento de la resistencia de las fibras del cuero por acción de relleno eficiente entre los espacios interfibras en relación a un agente curtiende convencional mejorando las propiedades del cuero, además se puede utilizar por su composición rica en proteínas y lípidos para la preparación de productos químicos de valor añadido con aplicación industrial como cosméticos, elaboración de concentrados para animales, jabones, gelatinas, para el mismo tratamiento del cuero, entre otros usos como materia prima y ofrecer una solución rentable para el reciclaje de residuos de carnaza de curtiembre y plantear un enfoque hacia la economía circular (Puhazhendi et al., 2022).

En Bangladesh buscan eliminar los desechos para proteger el medio ambiente aplicando las 3R (Reciclar, Reutilizar y Reducir), por consiguiente, en un estudio realizado en este país los residuos sólidos del proceso de descarnado son utilizados para la producción de compost gracias a su contenido de grasas y proteínas que la vuelve rica en nutrientes, además las carnazas son los residuos sólidos más abundantes del total de desechos sólidos sin curtir pues representan entre el 50% -60% del total de estos desechos. El compost es elaborado a partir de la extracción de grasa de los residuos de descarnado y mezclado con resina epoxi y un endurecedor, esta mezcla fue

vertida en un tamiz de aluminio y se realizó el curado a día siguiente, la fabricación de este producto a partir del material de descarnado proporciona una opción de reciclaje rentable para los importantes residuos sólidos del descarnado en la curtiduría (**Hashem et al., 2021**).

En China se utiliza los residuos sólidos del cuero como la carnaza para la extracción de aceite, elaboración de biocombustible, entre otros, estos desechos contienen grasas que puede ser extraídas mediante hidrolisis alcalina con una eficiencia del 98% de aceites grasos los cuales son una materia prima potencial para la producción de biodiesel por medio de digestión anaerobia; para la obtención de este producto se prepararon soluciones emulsificantes de etanol-diésel con ésteres metílicos de los ácidos grasos de las carnazas, las propiedades del biodiésel fueron evaluadas según la tasa de combustión, dispensabilidad, estabilidad, consistencia y liberación de gases y dio como resultado tasas de liberación de smog menores a los combustibles derivados del petróleo, por tanto este biodiesel es amigable con el medioambiente y aporta a una economía circular; otro producto que se puede fabricar de los residuos de grasa del descarnado es un engrase para el cuero curtido que puede ser aplicado en el proceso de post-curtido, como es el caso del engrase al sulfato para ser aplicado en la fabricación de cuero ovino, la aplicación de este engrasante tiene rendimiento alto de ácidos grasos y da como resultado un cuero con mejores características (**Li et al., 2019**).

Tabla 14. Procesos de reciclaje para residuos sólidos de dividido

Proceso	Residuo	Reciclaje	País
Dividido	Restos de piel	Producción de biogás a partir de residuos sólidos de curtiduría mezclados mediante codigestión anaeróbica (Agustini et al., 2020)	Brasil
		Reciclaje de residuos sólidos de tenería para la fabricación de un adsorbente para la eliminación de tintes de alta eficiencia de las aguas residuales de tenería (Tang et al., 2021)	China
		Reciclaje de pieles curtidas al cromo y su utilización como materiales poliméricos y compuestos a base de polímeros (Parisi et al., 2021)	Italia

Elaboración propia basada en los artículos (Agustini et al., 2020; Tang et al., 2021)

En Brasil un estudio determino la factibilidad del uso de residuos sólidos de curtiembre para la generación de biogás por acción de microorganismos anaerobios que se alimentan de estos residuos, los residuos sólidos como restos de piel, virutas de cromo y los lodos generados en el proceso del curtido del cuero presentan una relación

adecuada de carbono y nitrógeno por lo que no hace falta añadir una fuente de carbono a la solución nutritiva donde se coloca los microorganismos y tras la degradación de estos residuos se obtendrá una generación acumulada de biogás por gramo de desecho orgánico; según los ensayos de co-digestión de los tres residuos mencionados los restos de piel presentaron el mayor porcentaje de producción de biogás con un 33% en la fase exponencial, además se obtuvo una reducción en un 66% de estos desechos sólidos de curtiduría lo que demuestra la viabilidad de este proceso para reciclar estos residuos. Cabe mencionar que también existe beneficios referentes a los costos con una reducción del 8% del consumo de energía, el 18 %-23% de consumo de electricidad y el 8 % -11% en términos de consumo térmico (**Agustini et al., 2020**).

En China la cantidad de desechos de pieles no curtidas es mayor a la demanda de su utilización, por tanto, se busca formas de reciclaje y reutilización de estos desechos. Se desarrollo un estudio para la preparación de un adsorbente de biocarbón añadido con óxido de magnesio (MgO/BC) utilizando residuos sólidos de pieles no curtidas, los restos de piel tienen una consistencia fibrosa y están compuestos por 35,20% de C, 13,60% de N, 33,40% de O y 7,80% de H volviéndolas capaces de proporcionar mayor cantidad de grupos funcionales para el MgO/BC y mejorar su capacidad de adsorción, además gracias a su estructura tiene un área de superficie grande y específica que es utilizada por el adsorbente. Con el reciclaje de los restos de piel se logra disminuir la cantidad de residuos sólidos vertidos al ambiente y el producto de MgO/BC creado permite la eliminación de colorantes aniónicos de las mismas aguas residuales de curtiembre, estos colorantes están presentes debido al uso de tintes añadidos en el post-curtido que representan un aproximado del 30% del total de aguas residuales e incrementa el peligro bioacumulación de contaminantes en el ecosistema donde sean descargados, por tal razón se realizó análisis sobre la capacidad de adsorción del biocarbon que sumado al MgO presento una mayor eficiencia de adsorción de colorantes en aguas residuales de curtiduría (**Tang et al., 2021**).

Italia es un país que participa en el comercio del cuero y estudia la generación de residuos contaminantes derivados de las industrias encargadas de la producción de este, por este motivo se realizó un estudio para encontrar alternativas ecosostenibles para el manejo y reciclaje de estos desechos. El estudio se enfoca en las fibras de cuero curtidas al cromo para la elaboración de materiales poliméricos, que pueden ser usados

en la industria del caucho como aditivos o rellenos mediante moldeo por compresión para que se adhieran a la estructura del caucho y puedan mejorar las propiedades de los productos derivados de esta industria, incrementando su resistencia, brindándole suavidad, flexibilidad y haciéndolos más biodegradables y menos contaminantes en comparación con el caucho común; además se analizó el uso de cuero curtido sólido tratado para determinar si varían las propiedades del caucho tras su adición y se demostró que tanto los residuos sólidos de cuero curtido tratado y no tratado poseen la misma capacidad de resistir mejorar la estabilidad térmica de los materiales, reduciendo costos y evitando el envejecimiento de estos (**Parisi et al., 2021**).

Tabla 15. Procesos de reciclaje para residuos sólidos del proceso de rebajado

Proceso	Residuo	Reciclaje	País
Rebajado	Virutas de cromo	Reciclaje de lodos industriales de cuero a través de vermicología para un medio ambiente más limpio (Yuvaraj et al., 2020b).	Corea del Sur
		Diseño de un proceso industrial para el aprovechamiento continuo de viruta de cuero del proceso de curtido como materia prima en la elaboración de un producto reciclado (Zúñiga et al., 2021)	Perú
		Recuperación eficiente de cromo de lodos de tenería para una gestión sostenible (Raguraman & Sailo, 2017)	Irán
		Reutilización de wet-blue para obtener hidrolizado de colágeno (Villena et al., 2018)	Argentina
		Incorporación de wet-blue en una matriz polimérica de polipropileno (Rizzato et al., 2020)	Brasil

Elaboración propia basada en los artículos (Raguraman & Sailo, 2017; Rizzato et al., 2020; Villena et al., 2018; Yuvaraj et al., 2020a; Zúñiga et al., 2021).

En el estudio realizado en Corea del Sur buscan alternativas de reciclaje de lodos de curtiduría, puesto que, producen graves problemas ambientales en el suelo y las aguas subterráneas de ese país; por esta razón el proyecto se enfocó en el uso de lombrices para lograr la descomposición de materia orgánica convirtiéndose en sustratos más pequeños, frágiles y con carga microbiana propia de los efluentes líquidos de tenería, tras este proceso se logra reciclar estos desechos mediante la producción de vermicompost rico en nutrientes que puede ser utilizado para los cultivos como abono de las plantas, además la vermicología ayuda a descontaminar las aguas residuales de los metales pesados disminuyendo la contaminación del recurso agua y suelo donde son descargados las aguas tóxicas de curtiduría, cabe destacar que factores como el pH, la tasa de supervivencia de las lombrices y el contenido de carbono y nitrógeno intervienen en este proceso (**Yuvaraj et al., 2020**).

En Perú se desarrolló el diseño de un proceso industrial para el aprovechamiento de virutas de cuero del proceso de curtido con el fin de utilizar estas virutas denominadas wet-blue para elaborar cuero reconstituido, este proceso se realizó en tres etapas: en la primera se acondiciona la materia prima que en este caso es el wet-blue para que esta empiece a ser procesada; seguido a esto se realiza el mezclado de viruta de cuero con agua y resina para finalmente prensarlo y secarlo brindándole las propiedades físicas y mecánicas necesarias ,logrando reutilizar de manera sostenible el residuo de wet-blue sin generar más residuos sólidos contaminantes y obtener un producto con las mismas o mejoradas características que tiene el cuero original .Tras los análisis de las propiedades del cuero se determinó que añadiendo las virutas de cuero curtido junto con agua y resina se obtiene un producto con el mismo aspecto visual, suavidad, textura y resistencia del cuero natural de los animales mediante un proceso eco amigable **(Zúñiga et al., 2021)**.

En la curtiembre de Irán como las del resto del mundo el contaminante principal es el cromo, por tanto, el estudio realizado busca reducir el riesgo ambiental y de salud mediante la recuperación y reciclaje de este metal tóxico. Para la recuperación del cromo se aplicó tres pasos que consisten en: primero se extrajo el Cr (III) presente en los lodos de curtiembre que se sometieron a condiciones neutras, ácidas y oxidantes, mediante extracción ácida se obtuvo un 90 % del cromo, mientras que en condiciones neutras solo se obtuvo el 1,5 % de cromo y en condiciones oxidantes se identificó la disolución total del lodo sin recuperación de cromo ; segundo se realizó la oxidación de Cr(III) a Cr (VI) y finalmente su recuperación como sulfato de cromo que alcanzó el 83% siendo un valor significativo para poder reutilizarlo como agente curtiente **(Raguraman & Sailo, 2017)**.

Un país de Latinoamérica que implementa tecnologías de reciclaje es Argentina, la cual postula la reutilización de wet-blue para obtener hidrolizado de colágeno que puede ser usado como coagulante en tratamientos de aguas residuales de curtiembre obteniendo un beneficio doble para el medioambiente. El estudio plantea la obtención de colágeno hidrolizado utilizando como materia prima virutas de cuero complementadas con agua, cal e hidróxido de hidrógeno posteriormente se realizó una hidrólisis enzimática para eliminar las proteínas del wet-blue y finalmente se filtró obteniendo hidrolizado de colágeno con baja concentración de contaminantes; para

obtener mayor rendimiento en la recuperación del hidrolizado de colágeno es necesario utilizar un pH neutro así se puede tratar las aguas residuales de curtiembre con un producto obtenido de un residuo del mismo proceso de curtido del cuero ,siendo capaz de sustituir otros productos químicos tóxicos, reduciendo costos y evitando la acumulación de residuos sólidos (Villena et al., 2018).

Tabla 16. Procesos de reciclaje para residuos sólidos del proceso de acabado

Proceso	Residuo	Reciclaje	País
Acabado	Polvos de pulido	Utilización de la biomasa de la industria del cuero (Ayele et al., 2021)	Etiopía
		Carbono nanofibroso producido a partir de polvos de pulido de curtiduría que contienen cromo (Murugan et al., 2020)	India
		Desechos sólidos generados durante el afeitado del cuero curtido utilizados para producir un poliéster termoplástico biodegradable (Seggiani et al., 2021)	Italia

Elaboración propia basada en los artículos (Ayele et al., 2021; Murugan et al., 2020; Seggiani et al., 2021)

En Etiopía el proceso de curtido de pieles ha existido desde varios siglos atrás, siendo que en la actualidad las curtiembres forman parte importante de la economía de este país; el curtido de pieles genera una cantidad aproximada de 1,4 millones de toneladas de biomasa por año, esta biomasa sólida se forma por la acumulación de residuos de pelo, recortes de piel, afeitado y polvos de pulido que son una fuente de proteína , además el uso de biomasa aporta a la economía circular como suministro sostenible por su fácil obtención, disponibilidad y potencial renovable para producir bioenergía, biocombustibles y productos con valor agregado como biopelículas, bioplásticos, biofibras, material superabsorbente, aditivos y tensioactivos capaces de reemplazar a productos elaborados a partir de petróleo que son altamente tóxicos para el medio ambiente, aliviando la carga contaminante que descargan las curtiembres al ambiente (Ayele et al., 2021).

India es un país donde se plantean varios procesos de reciclaje para residuos provenientes de curtiembres, una de ese proceso es la producción carbon nanofibroso (NFC) a partir de polvos de pulido obtenidos del proceso de acabado del cuero, este carbon nanofibroso es producido con el fin de crear un modificador de betún que, reduciendo su capacidad de desgaste y oxidación y aumentando su durabilidad en la fabricación de asfalto. El carbon nanofibroso se obtuvo a partir del pirólisis de los polvos de pulidos con cromo dando como resultado un producto con 48,5- 50,6 % de carbono, 1,0- 1,5 % de hidrógeno, 2,89 a-3,33 % de nitrógeno y 1,5 - 1,9 % de azufre,

estos valores demuestran que el NFC preparado a partir del reciclaje de polvos de pulido de curtiembre es un excelente modificador de betún brindándole mayor estabilidad térmica y mejores propiedades físicas **(Murugan et al., 2020)**.

En Italia se incentiva el uso de hidrolizados de colágeno obtenidos a partir residuos sólidos de curtiembre, el wet-blue y los descarnes son los productos de mayor aportación de colágeno y en menos cantidad los polvos de pulidos, todos estos residuos son sometidos a hidrólisis alcalina o enzimática, desengrase, centrifugación y secado en biorreactores obteniendo como producto final el hidrolizado de colágeno, este es utilizado en un 20% para mezclarse con el poli-succinato de butileno para producir un poliéster termoplástico biodegradable, gracias al contenido de aminoácidos y materia orgánica de los residuos sólidos de curtiembre. Los análisis morfológicos indicaron que el hidrolizado de colágeno obtenido por hidrólisis alcalina presento una mejor capacidad de mezcla haciendo más blando y moldeable al poliéster, sin embargo la hidrólisis enzimática demostró una compatibilidad baja con la matriz polimérica brindándole mayor rigidez a la mezcla, todo estos datos permiten conocer el uso que se puede dar a los residuos sólidos de curtiembres , convirtiéndoles en candidatos prometedores para la producción de elementos biodegradables de mezclas termoplásticas y productos como macetas, recipientes utilizados en agricultura o viveros **(Seggiani et al., 2021)**.

En Brasil con el fin de minimizar el impacto ambiental negativo causado por los residuos de curtiembres se estudió la viabilidad de incorporar residuos de wet-blue a una matriz de polipropileno, el wet-blue se introdujo en un 10-20% a la composición de la matriz para la fabricación de probetas, tras pruebas de tracción mecánica realizadas al producto obtenido se determinó que quienes contenían el polvo de wet-blue incorporado en el material presentaron un incremento en sus resistencia entre un 2,10-7,65%, por tanto se determinó que los residuos sólidos de wet-blue son eficaces para su uso en productos de uso industrial y representan una opción para el reciclaje de estos residuos y ser parte de un proceso ecológico amigable con el medio ambiente **(Rizzato et al., 2020)**.

3.5. Procesos de reciclaje y reuso aplicados en las industrias de curtiembre ecuatorianas.

Tabla 17. Reciclaje de residuos de curtiembres ecuatorianas

Residuo	Reciclaje	Año
Grasas de residuos sólidos	Obtención de un tensoactivo a partir del proceso de recuperación de sebo de las industrias de curtiembre (Parada et al., 2018).	2018
Restos de piel y carne	Producción de alimento balanceado para mascotas a partir de los residuos de curtiembre generados en las etapas de dividido y descarte (Rivera et al., 2020).	2020
Restos de pelo y polvos de pulido	Compostaje de residuos provenientes de curtiembre (Puente et al., 2020).	2022

Elaboración propia basada en los artículos (Parada et al., 2018; Puente et al., 2020; Rivera et al., 2020)

En Ecuador el 2018, se planteó el reciclaje de los residuos de descarte o carnaza para extracción de grasas y elaboración de un tensoactivo de valor comercial, el proyecto consistió en recuperar la grasa adherida a la carne debido a su alto contenido de ácido linoleico, esteárico, palmítico, mirístico y oleico que se extrajo de 93 muestras de carnazas y se procedió a la recuperación de las grasas por acción de vapor de agua mediante un autoclave, donde se obtuvo 23% de grasas, 56% líquidos y 21% lodos ; la grasa extraída fue mezclada con alcohol dietiléter y $LiAlH_4$, a esta mezcla se le adicione ácido sulfúrico y se neutralizó con hidróxido de sodio para obtener el tensoactivo. Finalmente se determinó según un análisis fisicoquímico que la grasa extraída de las carnazas tiene alto contenido de yodo, ácidos grasos insaturados y poder de saponificación lo cual sirve para fabricar jabones y reducir la cantidad de desechos sólidos generados por las curtiembres promoviendo el reciclaje (**Parada et al., 2018**).

Otro residuo de curtiembre son los restos de piel que sumados a los restos de carne fueron aplicados para la producción de alimento balanceado para mascotas en un estudio de investigación que como fin se tuvo el reciclaje de residuos sólidos provenientes de las etapas de dividido y descarte debido a su alto contenido de proteínas y aminoácidos, que aportara un valor nutricional al animal tras su ingesta en forma de croquetas; los restos de piel y carnaza fueron sometidos a procesos de lavado, descalcado, cortados, blanqueado, moldeado y secado en bandejas eléctricas, se recuperó un 29,68% % de proteínas valor necesario para elaborar el alimento para

mascotas y cumplir con los requerimientos nutricionales del animal. Posteriormente se determinó la calidad del producto obtenido la cual cumplió con la norma INEN NTE 540 para el alimento balanceado que confirmo su calidad microbiológica y contenido de plomo, siendo apto para su comercialización, de esta manera se logra utilizar residuos sólidos de curtiembres como materia prima para la fabricación de productos con valor comercial (**Rivera et al., 2020**).

En un proyecto realizado en Riobamba se utilizó pelo residual y restos de piel para la producción de compostaje, puesto que del total de pieles que ingresan a las curtiembres se elimina el 60% como residuos. Para la elaboración del compost el pelo residual es sometido a desulfuración reduciendo la cantidad de sulfuros un 23,7%; posteriormente se realizó un proceso de degradación de los residuos sólidos reduciendo su volumen y la emanación de olor es indicativo de su descomposición, finalmente se obtiene un compost al cual se le añade residuos de pellet de los restos de piel tratados para mejorar la relación carbono-nitrógeno C/N; Los nutrientes de esta compost permiten el crecimiento exponencial de microorganismos y mostro una temperatura de 70°C la cual garantiza la pureza del producto, además por su contenido de materia orgánica este compost puede ser utilizado para la restauración de suelos deteriorado , por último con un control adecuado del compost se puede obtener un producto de alta calidad sin carga contaminante mediante el reciclaje de residuos sólidos de curtiembres como el pelo y restos de piel logrando disminuir la contaminación provocada por estos tras su descarga (**Puente et al., 2020**).

De los 12 artículos encontrados sobre curtiembres en el Ecuador solo 3 se enfocaron en el reciclaje de los residuos provenientes de la industria de curtiduría, por lo que se deduce la falta de interés por procesos de reutilización y reciclaje de desechos de curtiembres ya sea por falta de financiamiento, no cumplir con la responsabilidad social empresarial o por el poco control en el manejo de residuos, estos factores están afectando al medioambiente y a la población nacional. Otro factor que afecta a la industria del cuero es que tienen máquinas antiguas que utilizan gran cantidad del recurso agua y descargan un volumen considerable; por tanto, es de importancia la implementación de tecnologías para el reciclaje y reuso de residuos provenientes de curtiembres, además existen datos empíricos y modelos económicos que demuestran que una mayor inversión en tecnología incrementa la productividad de la empresa y la

calidad del producto (**Álvarez et al., 2020**). Sin embargo, la tecnología utilizada para reducir la contaminación de la producción en una curtiembre tiene un alto costo que para las industrias dedicadas al curtido del cuero es difícil financiar.

En este año la Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua realizó un estudio sobre la reactivación del sector cuero y calzado de Tungurahua, puesto que, esta provincia es donde se encuentra ubicado el mayor porcentaje de curtiembres a nivel nacional; según encuestas realizadas a 50 curtiembres de la provincia de Tungurahua solo el 2,17% son empresas grandes que tienen las posibilidades de aplicar tecnología para el manejo de residuos, 6,52% son medianas curtiembres y el 91,30% son pequeñas curtiembres, las cuales debido a su bajo capital económico no logran implementar tratamientos para sus desechos ni procesos de reciclaje que puedan contribuir a una gestión ambiental de calidad; esto sumado a las pérdidas después de la pandemia del COVID-19, ya que el 46,96% de las curtiembres perdieron 1 de cada 10 empleados, es decir casi la mitad del total de curtiembres tuvieron bajas en trabajadores y por ende menor producción de cuero experimentando un 54,35% en disminución de pedidos; 21,74% dificultad para entregar pedidos y 10,87% falta de financiamiento para lograr recuperarse (**Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022**). Otro factor que afecta el manejo de residuos contaminantes de las curtiembres es que el 89,13% de las curtiembres encuestadas no cuentan con un ingeniero ambiental en su equipo de trabajo, y debido a su falta de compromiso y organización no participan activamente en programas de gestión ambiental; el 73,91% no tiene una licencia ambiental, el 23,55% no tiene actualizada su licencia ambiental y solo el 2,54% cumple con su licencia ambiental, lo que provoca tras la descarga de sus desechos un impacto negativo generando malos olores, intoxicando el medio abiótico, disminuyendo la calidad del agua, sobresaturando los rellenos sanitarios y afectando la calidad de vida de personas que habitan en los alrededores donde son descargados estos desechos (**Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022**). Todos estos factores sumado al pago de préstamos, salarios y seguros con los que deben cumplir hace que en especial para las medianas y pequeñas curtiembres se dificulte el correcto manejo de residuos sólidos y efluentes líquidos, por tanto la gestión ambiental debe ser implementada con mayor intensidad en las empresas pymes para adquirir una ventaja competitiva que les permita mejorar su posición en el mercado y prevenir los impactos

negativos que puedan causar sus actividades al medio ambiente y la salud (**González et al., 2017**).

Las tecnologías de reciclaje analizadas en el presente trabajo son una opción para disminuir la contaminación provocada por los residuos de las curtidurías nacionales, los procesos de reciclaje viables para efluentes líquidos son:

- Utilizar las partículas orgánicas suspendidas en las aguas residuales de curtiembres nacionales como aditivo para la fabricación de ladrillos.
- Recuperar amoníaco de las aguas residuales de curtiembre para producir un agente adsorbente de cromo, eliminando este metal tóxico de las mismas aguas residuales de curtiduría.
- Aplicar tecnologías compuestas como filtración por membrana y adsorción para reutilizar las aguas provenientes del proceso de pelambre en el curtido del cuero.
- Utilizar la biolixiviación para recuperar cromo y transformarlo en sales de cromo como agente curtiente.
- Reciclar metales pesados de las aguas de curtiembres para producir pigmentos y cerámicas.

Los procesos viables para la reutilización y reciclaje de residuos sólidos descargados por curtiembres nacionales son:

- Extraer queratina del pelo residual de la piel animal fabricar productos de valor agregado como aminoácidos como serina, cisteína y prolina.
- Degradar los residuos sólidos de curtiembre como carnazas, restos de piel, pelo y polvos de pulido para producir pegamentos.
- Reutilización de residuos sólidos de cuero para la extracción de aceite, elaboración de biocombustibles y engrases para cueros.
- Producción de biogás a partir de residuos sólidos de curtiduría mezclados mediante codigestión anaeróbica.
- Reutilización de wet-blue para obtener hidrolizado de colágeno.
- Producción de biomasa con residuos de carne, piel y lodos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

- El impacto ambiental causado por los efluentes líquidos y residuos sólidos de las curtiembres provoca contaminación y afectación a la flora y fauna de los ecosistemas donde son descargados, la contaminación es debida a la carga tóxica de las aguas residuales que tienen altas concentraciones de metales pesados, biosidas, compuestos organoclorados, cal, fungicidas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), gran cantidad de sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (DS), sólidos totales (ST) nitritos, nitratos, tensoactivos, exceso de materia orgánica lo que conduce a bajas concentraciones de oxígeno disuelto (OD) que no puede ser utilizado por los organismos acuáticos y estos organismos son intoxicados y posteriormente mueren a causa de los químicos peligrosos mencionados , el impacto negativo causado en el recurso suelo es debido al exceso de metales pesados que vuelven al suelo inerte para su uso en agricultura u otro fin y en el caso del ser humano la exposición prolongada a estos metales puede provocar daño en la función nerviosa del cerebro, células de la sangre, riñones, hígado, pulmones entre otros órganos vitales importantes.
- En el Ecuador la pandemia del COVID-19 dejo consecuencias en la actividad de las curtiembres nacionales debido a las perdidas incalculables que estas tuvieron tras el tiempo de paralización en la producción de cuero, por tanto, las curtiembres activas en la actualidad son un total de 80 ubicadas el 50% en Tungurahua, el 26,43% en Azuay, el 2,57% en Cotopaxi y el 21% en Guayas, sin embargo, solo 11 curtiembres están legalmente registradas en la Superintendencia de compañías del Ecuador. Las curtiembres nacionales generan en promedio 1000L de agua por cada tonelada de cuero crudo y 6552 kg de residuos sólidos por semana que representan un volumen considerable de residuos contaminantes sin su debida gestión ambiental, puesto que, las únicas curtiembres que cumplen con la normativa ambiental vigente son las registradas en la Superintendencia de Compañías que implica el correcto manejo sus residuos industriales. Por otro lado, las medianas y pequeñas

curtiembres nacionales no cumplen con estas normas debido a la falta de recursos económicos y el poco control ambiental de sus actividades.

- En el compendio de procesos de reciclaje actuales que se están aplicando para los residuos de las industrias de curtiduría en el mundo se encontró un total de 12 proyectos que impulsan al reciclaje y reutilización de los efluentes líquidos provenientes de las curtiembres en diferentes países del mundo en especial para las aguas residuales de las etapas de ribera y curtido que son las que generan mayor volumen de estas aguas con mayor concentración de contaminantes, todos los procesos encontrados tienen la finalidad de disminuir el impacto ambiental negativo causado por las aguas residuales de curtiduría en el medio acuático y recurso suelo. Por otro lado, para los residuos sólidos se identificó 17 artículos sobre procesos de reciclaje, de los cuales 5 artículos están enfocados en el reciclaje del wet-blue por su carga con cromo, el cual es el metal pesado más tóxico utilizado en el proceso del curtido del cuero y por ende los esfuerzos en los diferentes estudios están enfocados encontrar alternativas para su reciclaje y reutilización. Sin embargo, tras la lectura de 80 artículos solo 29 estuvieron enfocados en los procesos de reciclaje y reutilización de residuos de curtiembre y el número restante se interesó en aplicar tratamientos para estos residuos, por lo que se puede decir que, el tema del reciclaje aún necesita de muchos estudios y mayor interés por parte de la comunidad científica para llegar a la erradicación de la contaminación provocada por los desechos sólidos y efluentes líquidos de curtiembres.
- En el país se encontró un total de 12 artículos de los últimos 5 años relacionados a las curtiembres, de los cuales solo 3 están enfocados en procesos de reciclaje y reutilización de sus desechos, es decir solo el 25% del total le interesa buscar formas de reutilizar los residuos sólidos de las tenerías ecuatorianas, además de que en los artículos encontrados ninguno se enfocó en el reciclaje de las aguas residuales de tenería, pues existe mayor interés en la aplicación de tratamientos de descontaminación de estas aguas. La falta de gestión ambiental por parte de las curtiembres ecuatorianas es debido a la escasez de recursos económicos, apoyo gubernamental y control por parte de las entidades legales respectivas que llevan a las industrias nacionales al no cumplimiento de las normas ambientales necesarias para disminuir la contaminación provocada por

el mal manejo de residuos de curtiduría y como consecuencia a la total pérdida de los residuos mencionados que pueden ser utilizados como materia prima para la fabricación de productos con valor agregado como gelatina, pigmentos, cerámicas, pegamentos, etc, sin embargo en el país tanto los residuos sólidos como los efluentes líquidos de las curtiembres son descargados sin previo tratamiento a cuerpos de agua dulce y al recurso suelo sin la capacidad de aplicar tecnologías de reciclaje en especial las medianas y pequeñas curtiembres que son las más numerosas en su falta de gestión ambiental, por tanto es de suma importancia que las entidades de gobierno respectivas tomen conciencia y encuentren forma de aplicar una economía circular y sostenible en el país, para mejorar la posición en el mercado de las curtiembres siendo tanto las industrias grandes , medianas y pequeñas capaces de contar con su respectivo sello verde.

- Tras la lectura de artículos sobre los procesos de reciclaje de desechos de curtiduría alrededor de todo el mundo, el presente proyecto propone aplicar los procesos más rentables que se ajusten a la economía del país según su viabilidad de utilización en curtiembres ecuatorianas, siendo los procesos de recuperación de las corrientes de agua provenientes de las etapas de ribera, curtido y post-curtido los más viables en términos de aplicación de tecnologías de tratamiento y reciclaje mediante las cuales se elimina los contaminantes tóxicos como el cromo que puede ser recuperado y posteriormente utilizado como agente de curtido con las mismas aguas tratadas; por otro lado en relación a los residuos sólidos la posibilidad de ser tratados y utilizados como materia prima para fabricar productos de valor agregado como pegamentos, hidrolizado de colágeno, gelatina aminoácidos, biocombustibles, engrase para cueros y biogás es viable de aplicación mediante el uso de tecnologías que no representen un alto costo de producción.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFÍA

- Agustini, C., Costa, M., & Gutterres, M. (2020). Tannery wastewater as nutrient supply in production of biogas from solid tannery wastes mixed through anaerobic co-digestion. *Process Safety and Environmental Protection*, 135, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.037>
- Álvarez, R., Núñez, L., & Calderón, F. (2020). Producción y comercialización de productos de curtiembre de piel de pescado, Santa Elena – Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Ayele, M., Limeneh, D., Tesfaye, T., Mengie, W., Abuhay, A., Haile, A., & Gebino, G. (2021). A Review on Utilization Routes of the Leather Industry Biomass. *Advances in Materials Science and Engineering* (Vol. 2021). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2021/1503524>
- Basaran, B., Yorgancioglu, A., & Onem, E. (2018). Reorganization of Beaming in Ecological Perspective. *Journal of Africa Leather and Leather Products Advances*, 4(1), 49–54. <https://doi.org/10.15677/jallpa.2018.v4i1.16>
- Bustos, A. R. M. (2020). The Role of ICP-MS in Separation Science. *Chromatographia* (Vol. 83, Issue 2, pp. 145–147). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10337-019-03846-2>
- Butt, M. Q., Zeeshan, N., Ashraf, N. M., Akhtar, M. A., Ashraf, H., Afroz, A., Shaheen, A., & Naz, S. (2021). Environmental impact and diversity of protease-producing bacteria in areas of leather tannery effluents of Sialkot, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 54842–54851. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14477-2>
- Chaudhary, P., Chhokar, V., Kumar, A., & Beniwal, V. (2017). Bioremediation of tannery wastewater. *Advances in Environmental Biotechnology* (pp. 125–144). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4041-2_7
- Cheng, Y., Yang, S., & Tao, E. (2021). Magnetic graphene oxide prepared via ammonia coprecipitation method: The effects of preserved functional groups on adsorption property. *Inorganic Chemistry Communications*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108603>
- Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua. (2022). “Programa integral para la reactivación económica del sector cuero y calzado de Tungurahua, encadenamiento productivo y comercial desde del enfoque de la innovación de Ambato y Tungurahua.”
- Dhiman, S., & Mukherjee, G. (2021). Biotechnological approaches towards treatment and recycling of wastewater from tanneries and leather industry. *Microbial*

Ecology of Wastewater Treatment Plants, 249–268.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822503-5.00022-9>

Digital Science & Research Solutions, Inc. (2021, December 13). *RedCube Paper*. Todo Sobre El Software RedCube-Paper. <https://support.papersapp.com/support/solutions/articles/30000045310-release-notes-12-13-2021>

Du, J., Shang, X., Li, T., & Guan, Y. (2022). Recycling and modeling of chromium from sludge produced from magnetic flocculation treatment of chromium-containing wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.10.052>

Faiz, F., & Azhari, A. (2020). Tanned and Synthetic Leather Classification Based on Images Texture with Convolutional Neural Network. *Knowledge Engineering and Data Science*, 3(2), 77. <https://doi.org/10.17977/um018v3i22020p77-88>

Falcón, L. (2017). Plan de manejo de residuos sólidos para la empresa curtiembre Aldas, ubicada en la parroquia de Totoras.

Fernández, V., Cuartas, B., Bes-Piá, M., & Mendoza, J.-A. (2022). Application of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes for Tannery Wastewater Reuse. *Water*, 14(13), 2035. <https://doi.org/10.3390/w14132035>

Ferro, D., Castiblanco, C., Agudelo, N., & Ruiz, E. (2019). Evaluación de un sistema de centrifugación para el secado de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales en la curtiembre El Escorpión del municipio de Villapinzón, Cundinamarca. *Revista Vínculos*, 16(2), 242–251. <https://doi.org/10.14483/2322939x.15188>

González, A., Alaña, T., & Gonzaga, S. (2017). La Gestión Ambiental en la Competitividad de las Pymes del Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(8.1), 236–248. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.371>

Guajala, M. E. R., Abril, C. M. M., Falcón, L. M. M., & Chalán, P. A. L. (2016). Gestión económica ambiental del sector curtiembre de Ambato. *Augusto Guzzo Revista Acadêmica*, (17), 133-142.

Guerrero, D., Pinta, J., Fernández, P., Mondragon, E., & Burbano, E. (2021). Molecular techniques for the assessment of Cr (VI) reduction by *Bacillus thuringiensis*. *Universitas Scientiarum*, 26(2), 243–259. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC26-2.mtft>

Hansen, E., Aquim, R., & Gutterres, M. (2021). Environmental assessment of water, chemicals, and effluents in leather post-tanning process: A review. *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 89). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106597>

Hashem, M., Sheikh, M., Rahamatullah, Biswas, M., Hasan, M., & Payel, S. (2021). Composite fabrication from fat extracted limed fleshing: solid waste management

- in tannery. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 56(3), 215–222. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v56i3.55969>
- Hongrui, M., Zhou, J., Hua, L., Cheng, F., Zhou, L., & Qiao, X. (2017). Chromium recovery from tannery sludge by bioleaching and its reuse in tanning process. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2752–2760. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.193>
- INEC. (2020). Índice de producción de la industria manufacturera. www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEN. (2018, July 11). Más empresas se suman a la Ruta de la Calidad. <https://www.normalizacion.gob.ec/mas-empresas-se-suman-a-la-ruta-de-la-calidad/>
- Kadathur, R., Murali, S., Balaraman, M., Sellamuthu, J., & Palanivel, S. (2022). Effective utilization of tannery hair waste to develop a high-performing re-tanning agent for cleaner leather manufacturing. *Journal of Environmental Management*, 302, 114029. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114029>
- Khambhaty, Y. (2020). Applications of enzymes in leather processing. *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 18, Issue 3, pp. 747–769). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00971-5>
- Kiraye, M., Wanasolo, W., Nalwanga, R., & Mwinyihija, M. (2018). Bioremediation of Tannery Effluents for Sustainable Production of Leather in Uganda: Literature Review. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 09(04). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000448>
- Klein, R., Hansen, É., & Aquim, P. (2022). Water reuse in the post-tanning process: Minimizing environmental impact of leather production. *Water Science and Technology*, 85(1), 474–484. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.620>
- Kong, X., Wang, Y., Ma, L., Huang, G., Zhang, Z., & Han, Z. (2020). Leaching behaviors of chromium (III) and ammonium-nitrogen from a tannery sludge in north china: Comparison of batch and column investigations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17166003>
- Köseoglu, K., Cengizler, H., Israil, L. I., & Polat, H. (2017). Tannery wastewater sediments produced by clinoptilolite/polyacrylamide-aided flocculation as a clay additive in brick making. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(2), 719–731. <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0085-z>
- Li, Y., Guo, R., Lu, W., & Zhu, D. (2019). Research progress on resource utilization of leather solid waste. *Journal of Leather Science and Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0008-6>
- Liknaw, G., Tekalign, T., & Guya, K. (2017). Impacts of Tannery Effluent on Environments and Human Health: A Review Article. *College of Natural and Computational Science*, 54. www.iiste.org

- Liu, X., Yue, O., Wang, X., Hou, M., Zheng, M., & Jiang, H. (2020). Preparation and application of a novel biomass-based amphoteric retanning agent with the function of reducing free formaldehyde in leather. *Journal of Cleaner Production*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121796>
- MAATE. (2004). Ley de Gestión Ambiental Codificación. www.lexis.com.ec
- Mahalakshmi, R., Pugazhendhi, A., Brindhadevi, K., & Ramesh, N. (2020). Analysis of Alkylphenol ethoxylates (APEOs) from tannery sediments using LC–MS and their environmental risks. *Process Biochemistry*, 97, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.06.015>
- Maina, P., Ollengo, M. A., & Nthiga, E. W. (2019). Trends in leather processing: A Review. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 9(12), p9626. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.9.12.2019.p9626>
- Maraz, K. M. (2021). Benefits and problems of chrome tanning in leather processing: Approach a greener technology in leather industry. *Materials Engineering Research*, 3(1), 156–164. <https://doi.org/10.25082/MER.2021.01.004>
- Masabanda, M., Echegaray, C., Delgado, V., & Echegaray, D. (2017). Análisis y localización de curtiembres en Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa (ESPE)*, 2(Análisis y Localización de curtiembres en el cantón Ambato, como parte de patrimonio cultural en el Ecuador), 41–45.
- Mpofu, A. B., Oyekola, O. O., & Welz, P. J. (2021). Anaerobic treatment of tannery wastewater in the context of a circular bioeconomy for developing countries. *Journal of Cleaner Production* (Vol. 296). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126490>
- Murshid, J., Tushar, U., Abdur, R., & Hai, Q. (2018). Ammonia-Reduced Deliming using Glycolic Acid and EDTA and its Effect on Tannery Effluent and Quality of Leather. *Leather Research Institute*, 1–5.
- Murugan, P., Balaji, M., Kar, S., Swarnalatha, S., & Sekaran, G. (2020). Nano fibrous carbon produced from chromium bearing tannery solid waste as the bitumen modifier. *Journal of Environmental Management*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110882>
- Oruko, R. O., Selvarajan, R., Ogola, H. J. O., Edokpayi, J. N., & Odiyo, J. O. (2020). Contemporary and future direction of chromium tanning and management in sub-Saharan Africa tanneries. *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 133, pp. 369–386). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.013>
- Parada, M., Andrade, M., Carreras, F., & Flores, B. (2018). Obtención de un tensoactivo a partir del proceso de recuperación de sebo de las industrias de curtiembre. *Perfiles*, 2.
- Parada, M., Cazar, R., Espin, D., & Tapia, A. (2021). Analysis of variation of the skin substance with the application of different acids in the pickle stage in Ecuadorian

- serrano bovine leathers. *Leather and Footwear Journal*, 21(3), 145–158. <https://doi.org/10.24264/lfj.21.3.2>
- Parada, M., Manobanda, P., Tapia, Z., Zambrano, M., Rennola, L., & Castillo, Y. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Redalcy.Org*, 40(2), 139–153.
- Parisi, M., Nanni, A., & Colonna, M. (2021). polímeros Reciclaje de pieles curtidas al cromo y su utilización como materiales poliméricos y compuestos a base de polímeros: una revisión. *Polímeros*. <https://doi.org/10.3390/polim13030429>
- Payel, S., Hashem, M. A., & Hasan, M. A. (2021). Recycling biochar derived from tannery liming sludge for chromium adsorption in static and dynamic conditions. *Environmental Technology and Innovation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102010>
- Pérez, L., Zambrano, S., Acurio, L., Robalino, D., & Fuentes, E. (2022). Study of the Influence of Anthropogenic Sources on the Water Quality of the Ambato River, Tungurahua - Ecuador. A Growing Environmental Problem. *Springer-Link* (pp. 101–110). https://doi.org/10.1007/978-3-030-94262-5_10
- Puente, C., Jara, J., Guapulema, A., & Burbano, D. (2020). Composting treatment of fur waste originating from tannery. *F1000Research*, 9, 228. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22244.1>
- Puhazhendi, P., Ajitha, P., Sujiri, A., Parthasarathy, G., Sellamuthu, N., Niraikulam, A., Saravanan, P., & Ramudu, K. (2022). Recycling of tannery fleshing waste by a two-step process for preparation of retanning agent. *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.11.003>
- Purba, F. (2021). The Potential of Constructed Wetlands for Liquid Waste Management in Small and Medium-Scale Tannery: A Literature Review. *Tropical Wetland Journal*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.20527/twj.v7i1.102>
- Raguraman, R., & Sailo, L. (2017). Efficient chromium recovery from tannery sludge for sustainable management. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(7), 1473–1480. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1244-z>
- Rigueto, C., Vinicius, T., Rosseto, M., Krein, D. D. C., Ostwald, B., Elisangela, P., Massuda, L., Zanella, B., & Dettmer, A. (2020). Alternative uses for tannery wastes: a review of environmental, sustainability, and science. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00034-z>
- Rimawi, W., Shaheen, S., & Salim, H. (2020). Removal of Chromium Ions from Tannery Wastewater using Cactus Powder. *Oriental Journal of Chemistry*, 36(1), 132–138. <https://doi.org/10.13005/ojc/360118>
- Rivera, M., Guijarro, C., Tapia, Z., & Mayorga, D. (2020). Production of balanced food for pets by processing tannery waste generated in the stages of splitting and fleshing. *Perfiles*, 1.

- Rizzato, M., Berto, L., Corso, M., Albuquerque, A., Azenha, T., & Rezende, L. (2020). Composições formadas por polipropileno reciclado e resíduos de couro wet-blue: uma prática sustentável. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, 55(2), 256–267. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820200654>
- Salinas Vásquez, J. V. (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* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Sadeghi, H., Fazlzadeh, M., Zarei, A., Mahvi, A. H., & Nazmara, S. (2022). Spatial distribution and contamination of heavy metals in surface water, groundwater and topsoil surrounding Moghan's tannery site in Ardabil, Iran. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(5), 1049–1059. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1730342>
- Salimin, Z., Satiyoaji, F. W., Prasetya, D. A., & Chafidz, A. (2020). Chemical treatment of liquid waste generated from leather tannery industry by using alum as coagulant material. *Materials Science Forum*, 991 MSF, 178–184. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.991.178>
- Sawalha, H., Alsharabaty, R., Sarsour, S., & Al-Jabari, M. (2019). Wastewater from leather tanning and processing in Palestine: Characterization and management aspects. *Journal of Environmental Management*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109596>
- Saxena, G., Purchase, D., & Bharagava, R. (2020). Environmental Hazards and Toxicity Profile of Organic and Inorganic Pollutants of Tannery Wastewater and Bioremediation Approaches. *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety* (pp. 381–398). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_17
- SC. (2022, July). Superintendencia de compañías. Directorio de Compañías. <https://mercadodevalores.supercias.gob.ec/reportes/directorioCompanias.jsf#>
- Seggiani, M., Altieri, R., Cinelli, P., Esposito, A., & Lazzeri, A. (2021). Thermoplastic Blends Based on Poly (Butylene Succinate-co-Adipate) and Different Collagen Hydrolysates from Tanning Industry: I—Processing and Thermo-mechanical Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(2), 392–403. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01880-y>
- Selvaraj, H., Aravind, P., George, H. S., & Sundaram, M. (2020). Removal of sulfide and recycling of recovered product from tannery lime wastewater using photoassisted-electrochemical oxidation process. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 83, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.11.024>
- Selvaraj, R., Santhanam, M., Selvamani, V., Sundaramoorthy, S., & Sundaram, M. (2018). A membrane electroflotation process for recovery of recyclable chromium (III) from tannery spent liquor effluent. *Journal of Hazardous Materials*, 346, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.052>

- Shukla, A., Mahmood, Z., & Singh, L. K. (2021a). Studies on recovery of heavy metals from tannery wastewater. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 13(1), 76–80. <https://doi.org/10.4314/ijest.v13i1.11s>
- Shukla, A., Mahmood, Z., & Singh, L. K. (2021b). Studies on recovery of heavy metals from tannery wastewater. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 13(1), 76–80. <https://doi.org/10.4314/ijest.v13i1.11s>
- Shuyi, Y., Hongtao, Z., & Ying, C. (2022). Immobilizing chromium in tannery sludge via adding collagen protein waste: an in-depth study on mechanism. *Springer Link*, 20.
- Silva, M., & Salinas, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*, 9(1), 69–80. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>
- Souza, F., Benvenuti, J., Meyer, M., Wulf, H., Klüver, E., & Gutterres, M. (2022). Extraction of keratin from unhairing of bovine hide. *Chemical Engineering Communications*, 209(1), 118–126. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1842740>
- SRI. (2019). SECTOR CUERO, CAUCHO Y PLÁSTICO IMPORTANCIA EXPORTACIONES. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/10/La-manufactura-de-cuero.pdf>
- Tamersit, S., & Bouhidel, K. (2020). Treatment of tannery unhairing wastewater using carbon dioxide and zinc cations for greenhouse gas capture, pollution removal and water recycling. *Journal of Water Process Engineering*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101120>
- Tamersit, S., Bouhidel, K. E., & Zidani, Z. (2018). Investigation of electro dialysis anti-fouling configuration for desalting and treating tannery unhairing wastewater: Feasibility of by-products recovery and water recycling. *Journal of Environmental Management*, 207, 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.058>
- Tang, Y., Zhao, J., Zhang, Y., Zhou, J., & Shi, B. (2021). Conversion of tannery solid waste to an adsorbent for high-efficiency dye removal from tannery wastewater: A road to circular utilization. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127987>
- Tarnavsky, A., Smolyansky, E., Harpaz, I., & Perets, S. (2019, November). *Connected Paper*. Connectedpaper.Com.
- Tasca, A., & Puccini, M. (2019). Leather tanning: Life cycle assessment of retanning, fatliquoring and dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 226, 720–729. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.335>
- Thankaswamy, S., Sundaramoorthy, S., Palanivel, S., & Ramudu, K. N. (2018). Improved microbial degradation of animal hair waste from leather industry using

- Brevibacterium luteolum (MTCC 5982). *Journal of Cleaner Production*, 189, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.095>
- TULAS. (2003). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.
- TULAS. (2006). Texto-Unificado-de-Legislacion-Secundaria-del-Ministerio-del-Ambiente 2. *ESilec*, 3516(Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio del Ambiente), 160–171.
- Urrutia, R., Molina, C., Moscoso, D., & Montaluisa, K. (2022). BOD5, COD, and Surfactants in Discharge Water in the Vicinity of a Tannery in Salcedo, Ecuador. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 987(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/987/1/012008>
- Uus, M. (2019). Traditional leather processing using domestic methods in Estonia. *ReserachGate*, 125–137. <https://doi.org/10.12697/sv.2019.11.164-179>
- Vallejo, J., Almonacid, L., Agudelo, R., Hernández, J., & Ortiz, Ó. (2019). Evaluación de la hidrólisis alcalina-enzimática para la obtención de colágeno hidrolizado a partir virutas de cuero curtido. *Revista ION*, 32(1), 55–62. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n1-2019005>
- Vera, L., Rajamanickam, R., Subramanian, S., Pattukandan, G., & Chiampo, F. (2022). Zero Liquid Discharge System for the Tannery Industry-An Overview of Sustainable Approaches. *Recycling*. <https://doi.org/10.3390/recycling7030031>
- Verma, T., Tiwari, S., Tripathi, M., & Ramteke, P. (2019). Treatment and Recycling of Wastewater from Tannery. *Microbial Ecology of Wastewater Treatment Plants* (pp. 51–90). https://doi.org/10.1007/978-981-13-1468-1_3
- Villena, M., Caracciolo, N., & Boeykens, S. (2018). Reuse of leather waste: Collagen hydrolyzate for the treatment of tanneries effluents. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 12(2), 287–292. <https://doi.org/10.4090/juee.2018.v12n2.287292>
- Wang, X., Sun, S., Zhu, X., Guo, P., Liu, X., Liu, C., & Lei, M. (2021). Application of amphoteric polymers in the process of leather post-tanning. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00050-7>
- Wang, Z., Wang, Y. N., Yu, Y., & Shi, B. (2021). Tanning Performance of a Novel Chrome-Free Complex Tanning Agent: Penetration and Distribution. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 116(8), 277–283. <https://doi.org/10.34314/jalca.v116i8.4356>
- Yan, B., Luo, L., & Yang, H. (2020). Isolation and characterization of *Aeromonas* sp. TXBc10 capable of high-efficiency degradation of octylphenol polyethoxylate from tannery wastewater. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 41(28), 3722–3731. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1619842>

- Yasir, M. W., Siddique, M. B. A., Shabbir, Z., Ullah, H., Riaz, L., Nisa, W. U., Shafeeq-ur-rahman, & Shah, A. A. (2021). Biotreatment potential of co-contaminants hexavalent chromium and polychlorinated biphenyls in industrial wastewater: Individual and simultaneous prospects. *Science of the Total Environment* (Vol. 779). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146345>
- Yorgancioglu, A., Onem, E., Yilmaz, O., & Karavana, H. (2022). Interactions Between Collagen and Alternative Leather Tanning Systems to Chromium Salts by Comparative Thermal Analysis Methods. *Johnson Matthey Technology Review*, 66(2), 215–226. <https://doi.org/10.1595/205651322X16225583463559>
- Yoseph, Z., Gladstone Christopher, J., Assefa Demessie, B., Tamil Selvi, A., Sreeram, K. J., & Raghava Rao, J. (2020). Extraction of elastin from tannery wastes: A cleaner technology for tannery waste management. *Journal of Cleaner Production*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118471>
- Yuvaraj, A., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., Awasthi, M. K., Kannan, S., & Thangaraj, R. (2020a). Recycling of leather industrial sludge through vermitechnology for a cleaner environment—A review. *Industrial Crops and Products*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112791>
- Yuvaraj, A., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., Awasthi, M. K., Kannan, S., & Thangaraj, R. (2020b). Recycling of leather industrial sludge through vermitechnology for a cleaner environment—A review. *Industrial Crops and Products*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112791>
- Zaheer, I. E., Ali, S., Saleem, M. H., Ashraf, M. A., Ali, Q., Abbas, Z., Rizwan, M., El-Sheikh, M. A., Alyemeni, M. N., & Wijaya, L. (2020). Zinc-lysine supplementation mitigates oxidative stress in rapeseed (*Brassica napus* L.) by preventing phytotoxicity of chromium, when irrigated with tannery wastewater. *Plants*, 9(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/plants9091145>
- Zhaldak, M. P., Merezhko, N. v., & Osyka, V. A. (2021). Tecnologías de la Industria Química, Alimentaria y ligero desarrollo de indicadores de calidad de cuero de distintos tipos de materia prima de cuero utilizando montmorillonita. *Universidad Nacional de Comercio y Economía de Kyiv*, 3, 1–5. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-297-3-136-142>
- Zhao, C., & Chen, W. (2019). A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(25), 26102–26111. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05699-6>
- Zúñiga, M., Velando, A., Villegas, J., & Aguilar, F. (2021). Design of an industrial process for the continuous use of leather chips from the tanning process as raw material in the elaboration of a recycled product. *Nexo*. <https://doi.org/10.5377/>