

Actualidad de tratamientos y procesos de reciclaje de los residuos industriales de curtiembres en Ecuador y el mundo

Current treatment and recycling processes of industrial waste from tanneries in Ecuador and the world

Dayana Anchatipán Bastidas¹ <https://orcid.org/0000-0002-4251-2106>,
Nelly Flores Tapia¹ <https://orcid.org/0000-0002-0851-8117>

¹*Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia en Ingeniería en Alimentos (FCIAB), Ambato, Ecuador*
dayanaanchatipan@gmail.com, ne.flores@uta.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/09/29

Aceptado: 2023/06/21

Publicado: 2023/06/30

Resumen

El objetivo de este estudio es investigar los procesos de reciclaje y reuso de los residuos generados por las curtiembres en Ecuador y el mundo. Para alcanzar este propósito, se utilizaron publicaciones de alto impacto y bases de datos gubernamentales para recopilar información. Se identificaron varios procesos de reciclaje y reuso para los residuos sólidos de las curtiembres, estos incluyeron la producción de pegamentos, colágeno, gelatina, aminoácidos, biocombustibles, biogás y lubricantes para cueros. Además, se encontró que es posible recuperar sales de cromo de las aguas residuales, lo que permite reutilizarlas. El estudio también reveló que países como India, Bangladesh y China, que son los principales productores de cuero, aplican tecnologías avanzadas de reciclaje en sus curtiembres. En contraste, países como Italia, Alemania y España se enfocan más en la conversión química de los residuos sólidos de la curtiduría. En Ecuador, no existen publicaciones sobre el reciclaje de residuos de tenerías, y las pocas que abordan este tema se centran en la reutilización de carnazas, restos de piel y obtención de queratina del pelo residual. Esta falta de interés, en la adecuada gestión de residuos en las curtiembres, puede atribuirse a la informalidad y la falta de aplicación estricta de la legislación ambiental en el país. En conclusión, es importante regularizar el sector industrial de curtiembres en Ecuador y promover procesos de reciclaje y reuso que proporcionarán beneficios económicos y sostenibilidad estas industrias. El estudio resalta la necesidad de mejorar la gestión de residuos en las curtiembres ecuatorianas y seguir el ejemplo de países que han implementado tecnologías avanzadas de reciclaje.

Sumario: Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Anchatipán, D. & Flores, N. (2023). Actualidad de tratamientos y procesos de reciclaje de los residuos industriales de curtiembres en Ecuador y el mundo. *Revista Tecnológica - Espol*, 35(1), 66-87. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/983>

Palabras clave: Desechos sólidos, efluentes líquidos, impacto ambiental, tecnologías de reciclaje y reúso.

Abstract

This study aims to investigate the recycling and reuse processes of the waste generated by tanneries in Ecuador and the world. High-impact publications and government databases were used to gather relevant information on the topic and, thus, achieve the objective of the study. Several recycling and reuse processes of tannery solid waste were identified, including the production of adhesives, collagen, gelatin, amino acids, biofuels, biogas, and leather lubricants. Additionally, it was found that it is possible to recover chromium salts from wastewater and reuse them. The study also revealed that countries like India, Bangladesh, and China, the primary producers of leather, apply advanced recycling technologies in their tanneries. In contrast, countries like Italy, Germany, and Spain focus more on the chemical conversion of tannery solid waste. In Ecuador, there is a lack of publications on tannery waste recycling, and the few available ones focus on the reuse of trimmings, leather scraps, and the extraction of keratin from residual hair. This lack of interest in proper waste management in tanneries may be attributed to informality and the country's lax enforcement of environmental legislation. In conclusion, it is crucial to regulate the tannery industry sector in Ecuador and promote recycling and reuse processes that will bring economic benefits and sustainability to these industries. This study highlights the need to improve waste management in Ecuadorian tanneries and follow the example of countries that have implemented advanced recycling technologies.

Keywords: Solid waste, liquid effluents, environmental impact, recycling and reuse technologies.

Introducción

Las curtiembres son industrias dedicadas a la transformación de la piel animal, la modifican químicamente hasta convertirla en cuero de valor comercial que es utilizado en la fabricación de vestimenta y aprovechado en diferentes actividades humanas (Parisi et al., 2021; T. Verma et al., 2019).

La industria del curtido contribuye al desarrollo económico de diferentes países, teniendo como mayores productores a Europa y Asia (Urbina et al., 2021). En Latinoamérica, Brasil y Argentina se destacan en este sector. Según estudios, se calcula que el comercio del cuero genera ganancias entre de USD 100 mil millones y USD 414 mil millones por año a nivel mundial (Rajamanickam et al., 2022; Saxena et al., 2020). De igual forma, en Brasil se generan USD 3 mil millones al año (Klein et al., 2022) y en Ecuador, solo en el 2020, se produjeron USD 502,38 millones (CFN, 2021). Sin embargo, la industria del cuero descarga enormes cantidades de residuos sólidos y efluentes contaminantes, lo que la coloca entre las diez industrias más tóxicas y a sus residuos en un foco de contaminación ambiental (Rigueto et al., 2020).

En los últimos años, a nivel mundial, el número de industrias dedicadas al curtido de pieles ha crecido, siendo las medianas y pequeñas tenerías las más contaminantes (González et al., 2017). En Ecuador, las curtiembres son un factor importante para la economía nacional, puesto que aportan con más de 100 mil plazas de empleo directo e indirecto (INEN, 2018); sin embargo, representan riesgos para el medio ambiente y la salud debido a la falta de gestión ambiental y Responsabilidad Social Empresarial (RSE) (Lascano et al., 2019).

Tomando en cuenta la actividad industrial de las curtiembres en el mundo y a nivel nacional, en el presente artículo se realiza una investigación bibliográfica sobre el proceso de curtido de pieles. Además, en este estudio, se identifican las curtiembres actualmente activas en el Ecuador y se evidencia el impacto ambiental de los residuos sólidos y efluentes; finalmente, se presentan las tecnologías de reciclaje y reutilización para desechos provenientes del curtido de cuero, utilizando bases de datos indexadas en Scopus, bases de datos de universidades latinoamericanas y ecuatorianas con la finalidad de encontrar alternativas ecológicas y sostenibles para la reutilización y reciclaje de los desechos sólidos de las curtiembres (Saxena et al., 2020).

Metodología

En este trabajo se analizó, desde una perspectiva bibliográfica, los tratamientos de reciclaje y reutilización de residuos líquidos y sólidos de curtiembres que se han desarrollado a nivel mundial en los últimos diez años. A partir de esta información, se determinaron las tecnologías aplicables a las curtiembres ecuatorianas.

Esta revisión se centró en los tratamientos existentes y las tecnologías utilizadas en el ámbito industrial alrededor del mundo, con el fin de evaluar su viabilidad y aplicabilidad específica en el contexto de las curtiembres en Ecuador.

Selección de bibliografía

Se realizó una búsqueda exhaustiva, utilizando diversas combinaciones de palabras clave como curtiembres, residuos sólidos, efluentes, reciclaje de residuos sólidos y descontaminación de efluentes provenientes del curtido de pieles. Estas combinaciones de palabras se adaptaron a las bases de datos electrónicas como Web of Science, Scopus-Elsevier-Science Direct, que se utilizaron en inglés. Además, se llevó a cabo una búsqueda en la literatura gris en Google Scholar, Scielo, Redalyc y tesis de grado de varias universidades latinoamericanas, tanto en inglés como en español, para encontrar artículos relacionados con curtiembres en Latinoamérica y Ecuador.

Es relevante destacar que este trabajo no abarcó investigaciones de carácter específicamente biológico o microbiológico, ni estudios sobre emisiones gaseosas en curtiembres, dado que estas últimas no están reguladas por las normas TULSMA en Ecuador. La contaminación gaseosa se encuentra principalmente asociada al mal olor generado durante el proceso de curtiembre, como se menciona en el estudio de Parada et al. (2019).

Las búsquedas se llevaron a cabo desde el 1 de septiembre de 2022 hasta el 1 de junio de 2023 para obtener la información lo más actualizada disponible.

Selección de publicaciones

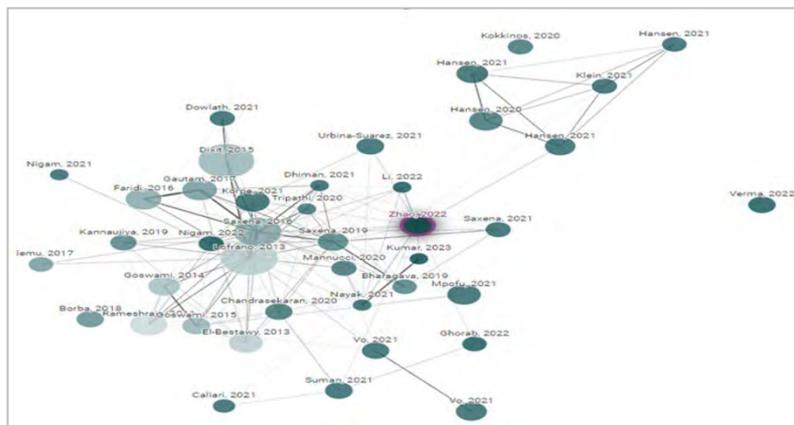
Para mejorar la eficacia de la búsqueda, se dividió en dos secciones principales. La primera sección se enfocó en buscar tecnologías de tratamiento de aguas residuales, mientras que la segunda se centró en el reciclaje de residuos sólidos. De todas las fuentes consultadas, se seleccionaron aquellas más relevantes para realizar un resumen en este trabajo.

Se utilizó el software Connected Papers para encontrar correlaciones de información entre los temas indagados. Este software generó visualizaciones que representaron las conexiones de similitud entre los artículos. Cada artículo se figuró como una esfera que se conecta con líneas a otros trabajos, y las esferas de mayor tamaño indicaron mayor relevancia. La investigación se realizó exclusivamente en inglés, utilizando palabras clave específicas y el operador booleano AND. Por ejemplo, se utilizó la combinación "tannery AND wastewaters"

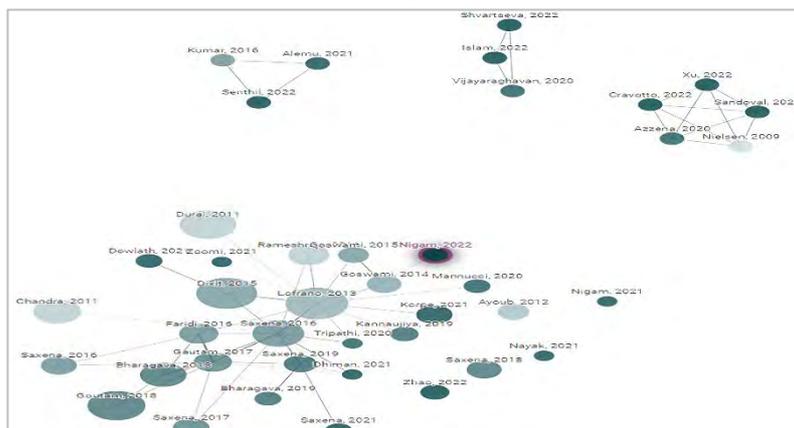
con el artículo base de Zhao et al. (2022, pp. 1-22), como se muestra en la Figura 1a. En una segunda búsqueda, se utilizaron las palabras clave "tannery AND wastewater AND treatment" con el artículo base de Nigam et al. (2022), como se muestra en la Figura 1b. Además, se realizó una búsqueda con las palabras clave "tannery AND solid waste treatment" y el artículo base de S. K. Verma & Sharma (2022), para obtener los documentos más recientes sobre estos temas (Figura 1c).

Figura 1

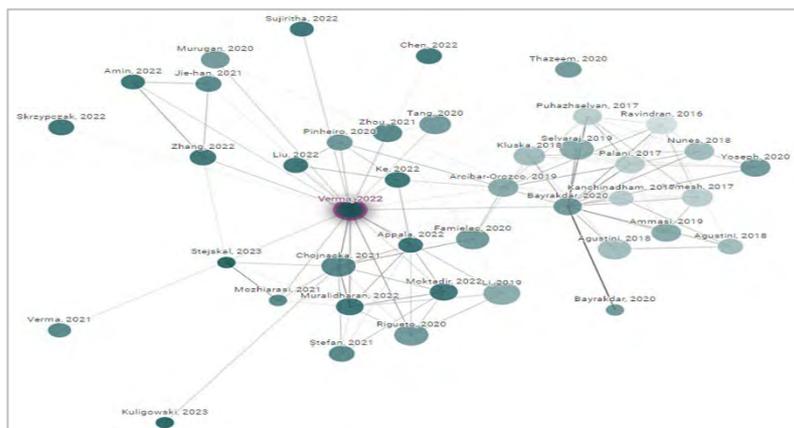
Resultados búsqueda información connected papers



a



b



c

Nota: La figura presenta los resultados obtenidos del software connected papers utilizando la combinación tannery AND wastewaters Figura 1a, tannery AND wastewater AND treatment Figura 1b y las palabras clave "tannery AND solid waste treatment" Figura 1c. Fuente: Autoría propia utilizal software <https://www.connectedpapers.com/> (2023).

Para adquirir información específica actualizada sobre las curtiembres ecuatorianas, se buscó en bases de datos como el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Instituto Nacional de Normalización (INEN), Servicio de Rentas Internas (SRI), la Superintendencia de Compañía (SC) y los repositorios de universidades nacionales.

De todos los artículos encontrados con la ayuda de Connected Papers, se escogieron aquellos que cumplieran con el criterio de selección establecido. Se priorizaron las publicaciones de los últimos cinco años que se basaban en investigaciones originales relacionadas con curtiembres, residuos sólidos, efluentes líquidos e impacto ambiental. Se excluyeron los artículos de revisión para garantizar la obtención de información actualizada y de mayor relevancia.

En la base de datos Elsevier-Scopus se establecieron los siguientes parámetros de búsqueda: "tannery AND solid wastes" y "tannery AND wastewaters", en un periodo de búsqueda desde 2018 hasta 2023. Se prescindieron los artículos de revisión y se consideraron únicamente aquellos que presentaban investigaciones originales para obtener información actual. Además, la indagación se limitó a artículos escritos en inglés.

Para encontrar información relacionada con Latinoamérica, se utilizó la base de datos Redalyc. Se emplearon palabras clave y operadores booleanos como "curtiembre AND tratamiento AND residuos", y se buscaron artículos publicados en los últimos cinco años tanto en inglés como en español.

Los documentos que presentan información sobre procesos específicos llevados a cabo en Ecuador se buscaron en Google Scholar, para ello, se utilizó el siguiente criterio de indagación: tratamiento AND 'aguas residuales de curtiembres' AND ecuatorianas. Se especificó entre comillas "aguas residuales de curtiembres" para hacer la búsqueda más concreta. Asimismo, para analizar los estudios sobre el tratamiento de residuos sólidos, se utilizó el siguiente criterio: tratamiento AND 'residuos sólidos de curtiembre' AND ecuatorianas. Igualmente, solo se incluyeron artículos en inglés y español.

Organización de la información

Utilizando Connected Papers, se obtuvieron inicialmente 84 artículos relacionados con curtiembres. De estos, se encontraron 31 que abordaban el tema de reciclaje de residuos sólidos, y 29 trataban sobre tratamientos de aguas residuales de curtiembres. Después de eliminar los duplicados e investigaciones a escala laboratorio, solo quedaron 35 artículos útiles para este estudio.

En la base de datos Redalyc se encontraron 59 artículos relacionados con los criterios de búsqueda establecidos, entre ellos, se identificó uno muy relevante titulado: "Diseño, evaluación y validación de un sistema de tratamiento de efluentes del proceso de curtido de pieles: caso Pieles del Sur" (Paz et al., 2020). Este estudio resume que el tratamiento del agua residual de la planta se hace solo con el fin de recircular el agua, ahorrarla y evitar multas; este proceso se destaca como el caso más común en el territorio nacional.

Por su parte, en la base de datos de Google Scholar, se identificaron 121 artículos sobre el tratamiento de efluentes de curtiembres, pero solo en 15 se hace hincapié en que el agua tratada fue reciclada al proceso nuevamente; además, se encontraron 7 trabajos sobre tratamientos de residuos sólidos investigados en Ecuador.

Finalmente, para recomendar tecnologías a aplicarse en curtiembres ecuatorianas se buscaron tecnologías de descontaminación en la base de datos Elsevier-Scopus-Science Direct, donde se usaron los criterios "tannery AND solid wastes" y "tannery AND wastewater", lo que arrojó 1656 y 2328 artículos de investigación, respectivamente. En este caso, en vista de la gran cantidad de información obtenida, el enfoque fueron los tratamientos específicos de vanguardia aplicables en las curtiembres ecuatorianas; por lo que, se emplearon criterios de búsqueda adicionales como "tannery AND solid wastes AND chromium", "tannery AND solid wastes AND glue", "tannery AND solid wastes AND animal food", "tannery AND solid wastes AND composites", y "tannery AND wastewater AND treatment recycling".

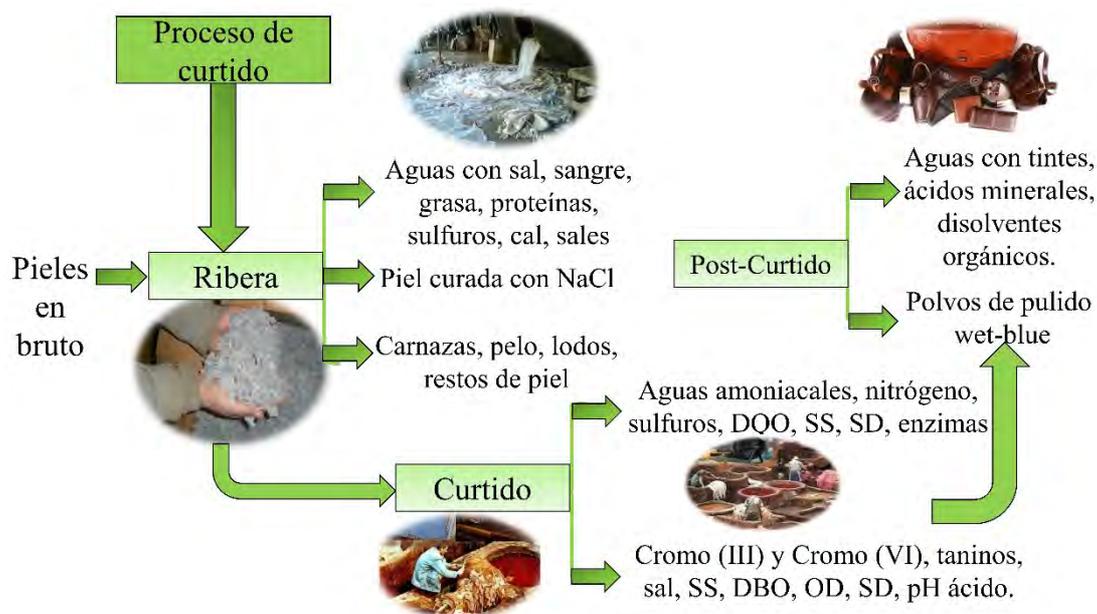
Hay que recalcar que se realizaron eliminaciones de duplicados en los documentos obtenidos y se revisaron los resúmenes y las conclusiones de los trabajos encontrados. Además, se seleccionaron 10 artículos de Scopus que proporcionaban información sobre nuevas tecnologías aplicables en las curtiembres de Ecuador. En total, se resumieron 82 estudios en este trabajo.

Resultados y Discusión

Las curtiembres se dedican a convertir pieles de animales putrescibles en un material apto para diferentes usos mediante tratamientos químicos. Este proceso consta de varias etapas: remojo, pelambre, descarnado, dividido, desencalado, piquelado, curtido, neutralizado, blanqueado, teñido, engrasado y secado (Verma et al., 2019). Se procesan alrededor de 6900 000 toneladas de pieles y cueros salados al año (Puhazhendi et al., 2022), este proceso, en su mayoría químico, genera gran cantidad de desechos sólidos como: wet-blue, restos de carne, pelo, retazos de piel, polvos de pulido, etc. (Kamaraj et al., 2017), los cuales son nocivos para el medio ambiente y la salud debido a la presencia de cromo y exceso de materia orgánica con baja biodegradabilidad. Además, el curtido de pieles requiere un consumo de agua entre 30 a 50 m³ por tonelada de cuero (Basaran et al., 2018).

Figura 2

Etapas del Curtido de Cuero y Residuos Generados



Nota: La Figura muestra las etapas de curtido de cuero y sus subetapas con los respectivos residuos producidos. Fuente: Autoría propia (2023).

Las aguas residuales del proceso contienen metales pesados, ácidos orgánicos, grasas, proteínas, sangre (Korpe & Venkateswara, 2021), los cuales causan daños significativos al suelo agrícola y a cuerpos de agua receptores debido a la toxicidad de los agentes químicos aplicados en cada etapa (Rigueto et al., 2020). El procesamiento que se da a la piel en bruto empieza con el pretratamiento para demorar el proceso de deterioro de las pieles. En la etapa de ribera, se limpia y prepara la piel, en el curtido se le cambia su composición química, confiriéndole estabilidad a los cambios ambientales (Tasca & Puccini, 2019) y, en el post curtido, se le da las demás características requeridas por el mercado (Parada et al., 2019). En la Figura 2, se puede observar las etapas por las que pasa la piel en bruto y los residuos generados en cada una de ellas.

Efluentes y los contaminantes involucrados

En la etapa de ribera se utilizan químicos como el cloruro de sodio para deshidratar las fibras de colágeno y evitar la descomposición (Maina et al., 2019); así también, el hipoclorito de sodio aplicado para eliminar sales y materia orgánica (Sawalha et al., 2019a); mientras que, el hidróxido de sodio y el sulfuro de sodio son aplicados para la hidrólisis del pelo animal y quitarla epidermis de la piel respectivamente (Kadathur et al., 2022; Yadav et al., 2019); finalmente, se usa ácido sulfúrico para preparar a la piel a la exposición del agente curtiente. Todos estos productos químicos utilizados y los residuos obtenidos tras su aplicación son descargados en aguas residuales y su presencia incrementa la cantidad de sólidos totales disueltos (STD), demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sulfuros, los cuales son altamente contaminantes para el cuerpo de agua receptor debido a la acidificación del medio, lo que produce la intoxicación y posterior muerte de peces y otros organismos acuáticos (Verma et al., 2019).

Durante el curtido se aplican agentes de origen mineral, vegetal y sintéticos, siendo el sulfato de cromo el agente curtiente más empleado por esta industria, debido a su fácil manejo, alta estabilidad térmica en condiciones de producción y propiedades viables de aplicación, además de que ocupa menor tiempo para obtener el cuero como producto final (Maraz, 2021). El sulfato de amonio y sales de amonio eliminan la alcalinidad de la piel, asimismo, ayudan a remover sulfuros y reducir el pH. En esta etapa se generan aguas residuales con altas concentraciones de cromo, sulfuros, nitrógeno orgánico y amoniacal que contaminan el medio ambiente debido a reacciones de nitrificación e intervención en las reacciones naturales que ocurren en los cuerpo de agua y suelo, provocando un desequilibrio químico y generando agentes tóxicos como el ion nitrito que penetra las membranas biológicas de seres vivos, afectando su sistema inmune y produciendo su posterior muerte (Murshid et al., 2018).

Entre el 30% y el 40% de cromo es eliminado en las aguas residuales del proceso de curtido, este cromo disuelto es muy oxidante, no es biodegradable y atraviesa membranas biológicas de seres vivos, por lo que, es tóxico para la vida microbiana, vegetal y acuática (Rimawi et al., 2020a), además, este metal, en su forma hexavalente, es un cancerígeno perjudicial para la salud humana (Salimin et al., 2020a). Todos estos agentes químicos aplicados causan efectos negativos en la flora y fauna de los ecosistemas donde son descargados, incrementando la demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (Liu et al., 2020; Verma et al., 2019).

En la etapa de post-curtido se aplica el bicarbonato de sodio para blanquear el cuero, engrase para que adquiera suavidad y flexibilidad, y tintes para brindar color al cuero terminado (Liknaw et al., 2017). También, se aplica el tributilestano y los bifenilos policlorados (PCB), como pintura antiincrustante, para evitar la proliferación de bacterias y hongos (Bustos, 2020; Yasir et al., 2021a). Estas aguas residuales producen eutrofización en los cuerpos de agua dulce

donde son descargados (Butt et al., 2021). Además, debido a la presencia de metales pesados, generan una alta conductividad, creando desequilibrio en las reacciones químicas y actividad enzimáticas en los ecosistemas acuosos, disminuyendo el efecto de biorremediación natural (Sawalha et al., 2019; Verma et al., 2019; Yasir et al., 2021). A toda esta situación, se suma que incrementan la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD) y sólidos totales (ST) (Kadathur et al., 2022), que son indicadores de un impacto ambiental negativo.

Residuos sólidos

Los residuos sólidos de las curtiembres incrementan la contaminación ambiental de los lugares donde son descargados. Se ha detectado que de 1000 kg de pieles saladas que se ocupan, 600 kg son desechos sólidos y solo 200 kg de cuero terminado, produciéndose así una gran cantidad de desperdicios como: restos de carne, pelo, retazos de piel, polvos de pulido y las virutas de wet-blue que se obtienen durante el proceso de rebajado del cuero (Parisi et al., 2021). Estos residuos al ser descargados en agua y suelo aumentan los niveles de contaminación, generando un exceso de materia orgánica presente en la tierra y los rellenos sanitarios, disminuyendo la velocidad de oxidación de la materia orgánica por parte de microorganismos propios del suelo, lo que puede llegar a convertirlo en inerte para su uso en agricultura u otro fin (Salimin et al., 2020b). En la Tabla 1 se puede identificar los residuos sólidos generados del proceso de curtido de pieles.

Tabla 1
Características de residuos sólidos de curtiembres

RESIDUO SÓLIDO	CARACTERÍSTICAS	FUENTE
Pelo	Alto contenido de queratina	(Thankaswamy et al., 2018a)
Carnaza	Contiene grasa, proteína, piel y sangre	(Hashem et al., 2021a)
Restos de piel	Alto contenido de colágeno	(Tang et al., 2021)
Wet-blue	Virutas de cuero con cromo	(Agustini et al., 2020a)
Polvos de pulido	Material volátil que contiene cromo y compuestos tóxicos	(Ayele et al., 2021a)

Los residuos sólidos de curtiembre, como el pelo, se generan luego de la hidrólisis con hidróxido de sodio o sulfuro de sodio, y estos contienen entre un 90% a 97% de queratina (Souza et al., 2022a), la naturaleza proteica de estos restos disminuye su biodegradabilidad, aumentando la concentración de DBO, DQO, SD y ST (Thankaswamy et al., 2018).

De igual forma, la carnaza representa entre el 50 a 60% de los residuos sólidos sin curtir (Hashem et al., 2021a) y junto con los restos de piel generan partículas orgánicas de grasas, sangre y proteínas que aumentan la concentración de SS y ST y, tras su descomposición, emiten un olor putrefacto (Kadathur et al., 2022; Li et al., 2019).

Los recortes wet-blue son residuos sólidos con alto contenido de cromo (Agustini et al., 2020), generados en el proceso de rebajado, y son el 30% del total de estos desperdicios (Parisi et al., 2021). Debido a la toxicidad del cromo que está unido a las moléculas de colágeno, estos restos son peligrosos para los seres vivos, pues pueden causar mutaciones en el ácido nucleico

y en las células humanas, induciendo a la aparición de células cancerígenas (Rimawi et al., 2020b; Shukla et al., 2021a).

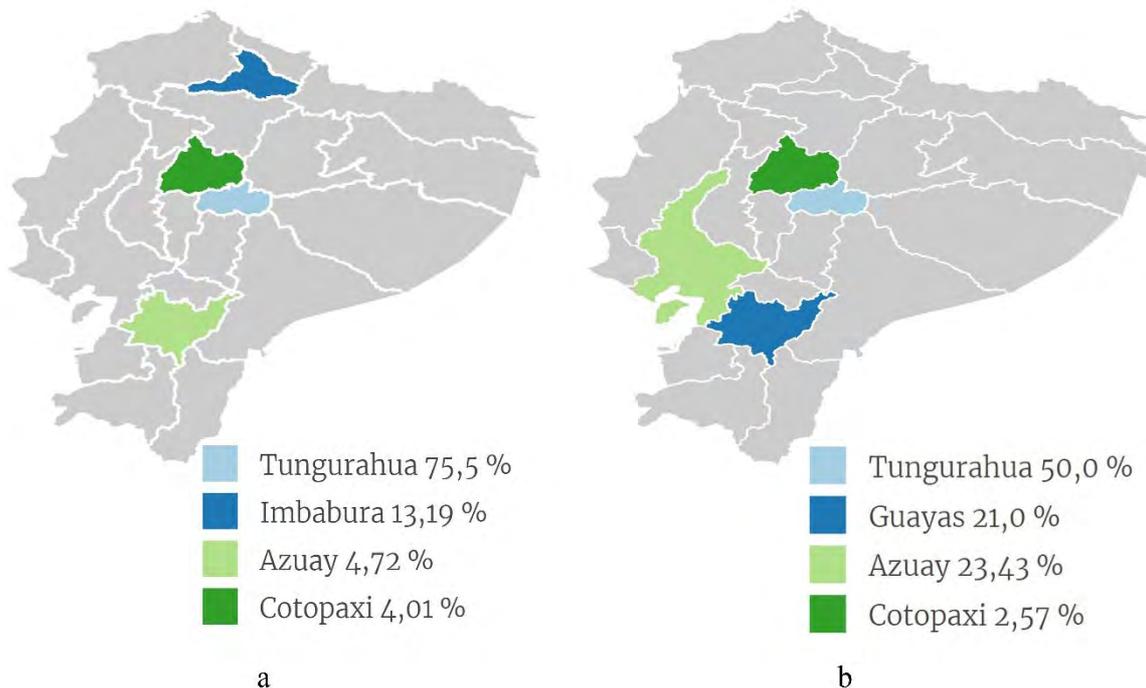
Finalmente, en menor cantidad, se eliminan metales pesados como cromo, mercurio, sodio, níquel, cobre, etc. y compuestos tóxicos como sulfuros, cloruros, amoniacos que son nocivos para el medio ambiente y la salud (Ayele et al., 2021a).

Situación de las curtiembres activas en Ecuador

En el Ecuador, mediante la obtención de información de artículos y tesis, se encontró que existe un antes y un después de la pandemia con respecto a la actividad económica del sector de curtiembre. En la Figura 3a se puede identificar la localización de tenerías en diferentes provincias del país. En 2017, mediante la realización de un catastro, se determinó que la provincia con mayor número de curtiembres es Tungurahua, la cual posee 57 industrias de las 80 existentes a nivel nacional (Masabanda et al., 2017; Silva & Salinas, 2022), lo que representa el 75,58% del total de curtiembres en el país. Esta situación aumenta el desarrollo industrial en Tungurahua a la vez que contribuye a la contaminación en la provincia (Salinas, 2014). El restante 24,42% se distribuyen en las provincias de Imbabura, seguido de Azuay y Cotopaxi, un resumen se puede ver en la Figura 3b

Figura 3

Ubicación Geográfica de Curtiembres en el Ecuador (a) Antes de la Pandemia COVID19 y (b) Después de la Pandemia del COVID 19



Nota: La Figura presenta una comparación de la distribución de curtiembres en Ecuador antes (a) y después (b) de la pandemia. Fuente: Autoría propia utilizando el software <http://mapinseconds.com/> (2023).

Durante el año 2018, se observó que el 76,6% de la producción de cuero en las curtiembres se destinó a la fabricación de calzado, mientras que el 23,4% restante se distribuyó en actividades como marroquinería y confección de prendas, entre otras (Peñafiel & Vásquez, 2020). Por otro lado, en 2019, el Servicio de Rentas Internas (SRI) registró ganancias totales de la industria de tenerías por un monto de USD 867,7 mil dólares, lo cual representó una disminución del 15% en comparación con el año anterior. Además, se reportaron pérdidas por

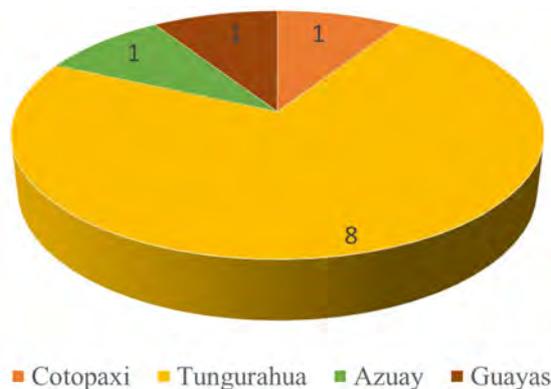
USD 1,2 miles de dólares, lo que supuso una reducción del 83% en las utilidades, debido a la disminución en la demanda de cuero (SRI, 2019).

En 2020, con el inicio de la pandemia global del COVID-19 y la emergencia sanitaria nacional, ocurrió una disminución en la producción del cuero debido a la reducción en los pedidos, incapacidad para entregarlos y dificultad para adquirir financiamiento. Según el último boletín técnico del Instituto de Estadísticas y Censo (INEC), el índice de producción de la Industria Manufacturera (IPI-M), en septiembre del 2020, registró una variación anual de -5,62% y una variación mensual de -77,12% respecto a septiembre 2019. Estas cantidades indican un resultado negativo para la venta de cuero terminado (INEC, 2020).

En el presente año, la Corporación de Desarrollo de Ambato y Tungurahua realizó un catastro de curtiembres a nivel nacional mediante encuestas, entrevistas e investigación en medios digitales y entidades públicas del sector, en este estudio se determinó que Tungurahua sigue siendo la provincia con mayor número de tenerías activas del país, con un 50%, seguido de Azuay con el 26,43%, Guayas con el 21% y Cotopaxi con el 2,57% como se puede observar en la Figura 3b. Además, se identificó que la provincia de Imbabura no tiene industrias dedicadas al curtido de cuero registradas, esto debido a las graves pérdidas económicas que dejó la pandemia y, por consiguiente, la disolución y liquidación de varias de estas (Figura 4). Sumado a esta situación, el efecto postpandemia provocó una disminución en la demanda de cuero del 54,35% (Corporación de desarrollo de Ambato y Tungurahua, 2022).

Figura 4

Curtiembres Registradas en la Superintendencia de Compañías.



Nota: La Figura presenta la distribución geográfica de las curtiembres registradas en la Superintendencia de Compañías hasta septiembre de 2022, desglosada por provincias. Fuente: Autoría propia (2023).

Actualmente, en el país existen solo once curtiembres legalmente registradas en la Superintendencia de Compañías (SC), entidad que controla y valida las actividades de estas empresas. Las once curtiembres que constan en la Figura 4, cumplen con los respectivos permisos de funcionamiento, con Responsabilidad Social Empresarial (RSE) y correcta gestión económica, social y ambiental (Lascano et al., 2019). Sin embargo, es un número pequeño en comparación con el total de tenerías activas en el país que en su mayoría trabajan de manera informal sin registrarse ante las instituciones reguladoras nacionales.

Las informalidades de medianas y pequeñas curtiembres hacen que las industrias dedicadas al curtido de pieles no se interesen en cumplir con sus obligaciones legales y así formar parte del cambio para disminuir el impacto ambiental provocado por los residuos que generan; por tanto, es importante que exista un mayor control por parte del gobierno e interés

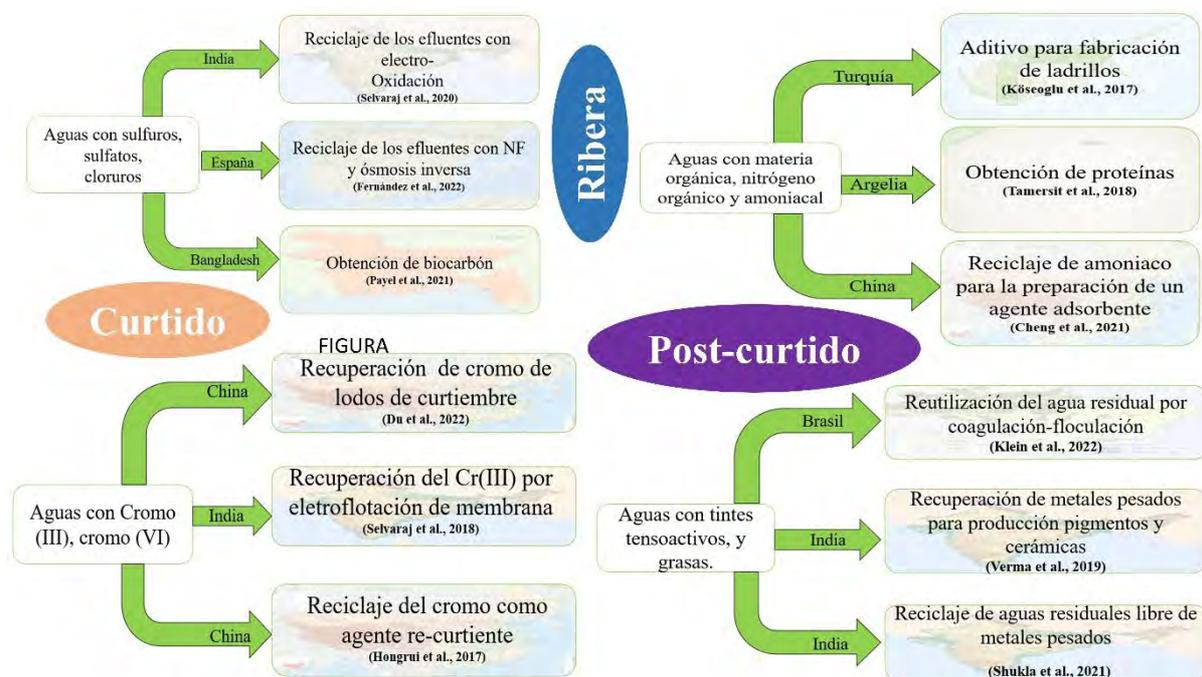
en aplicar tecnologías para el reciclaje y reutilización de residuos de las tenerías para reducir la contaminación ambiental que provocan.

Procesos de Reciclaje y Reutilización de Residuos Provenientes de Curtiembres a Nivel Mundial

El reciclaje y reúso de residuos industriales es aplicado alrededor de todo el mundo con el fin de mitigar la contaminación ambiental. Para las empresas legalmente registradas ante sus organismos de control nacional, el tratamiento de residuos es obligatorio y está regido según normativas de cada país. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica se encarga de controlar las descargas de aguas residuales y desechos sólidos en el territorio nacional siguiendo las leyes contempladas en Código Orgánico del Ambiente, el cual ha sido un avance significativo en el ámbito legal para la protección del medio ambiente (Moscoso, 2019).

Figura 5

Procesos de Reciclaje de Efluentes de las Etapas de Curtido de Cuero.



Nota: La Figura ilustra los productos resultantes del reciclaje de los diversos residuos generados durante los procesos de curtido, post curtido y ribera. Fuente: Autoría propia (2023).

Tecnologías de reciclaje y reúso para residuos líquidos

El reciclaje y reúso depende ampliamente del tipo de procesos y de los contaminantes que contienen las aguas residuales de curtiembres, ya que estas presentan una gran dificultad en su descontaminación por la cantidad de sustancias recalcitrantes y alto contenido de DBO, DQO, SS, SD, grasas, etc.; por lo que, se han requerido muchos años de investigación para tener resultados significativos (Zhao et al., 2022). En la Figura 5 y en la Tabla 2, se resumen algunos procesos aplicados en la remediación de aguas residuales de curtiembres alrededor del mundo para su posterior reciclaje y re-uso.

En la región andina, los países que tienen curtiembres están trabajando para disminuir la contaminación que producen, obligados en su mayoría por leyes ambientales nacionales, mientras que son las universidades quienes promueven la investigación para encontrar mejores procesos de manejo, uso y reúso de efluentes líquidos. Por ejemplo, en Colombia, el estudio

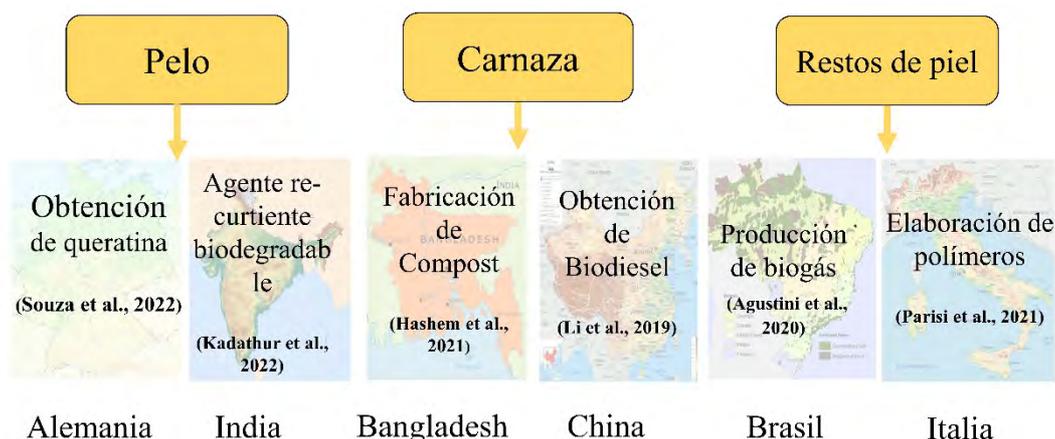
de Jara, 2018, evaluó el uso del quitosano, derivado del exoesqueleto de *Cryphiops caementarius*, para reducir sustancias orgánicas residuales de una curtiembre. Los resultados mostraron que el tratamiento de efluentes de la tenería con recortes wet-blue mezclados con quitosano fue altamente efectivo en la reducción de contaminantes en el agua residual, lo que facilitó el reuso de estas aguas nuevamente en el proceso de curtiembre. En Perú también se estudian alternativas, por ejemplo, tecnologías de electrocoagulación para eliminar materia orgánica de estas aguas para su posterior recirculación en las curtiembres (Mayta & Mayta, 2017). Sin embargo, existe escasa literatura sobre el resto de los países de la región andina.

Tecnologías de reciclaje y reuso para residuos sólidos

En la Figura 6 se resumen algunos tratamientos de residuos sólidos en la etapa de Ribera, en diferentes países. En los países europeos, por ejemplo, en Alemania se realizó un estudio sobre la extracción de queratina del pelo residual de la curtiembre (Souza et al., 2022b). Italia se encarga del 7% de la producción mundial de cuero (Hansen et al., 2021) y en este país se ha estudiado la transformación de los residuos sólidos generados en materia prima para la elaboración de polímeros que serán utilizados en diferentes industrias como la del caucho y como sustituto del petróleo (Parisi et al., 2021c).

Figura 6

Residuos Sólidos de la Etapa de Ribera.



Nota: La Figura presenta los productos de mayor relevancia obtenidos a través del reciclaje de los residuos sólidos generados en un proceso de curtido. Fuente: Autoría propia (2023).

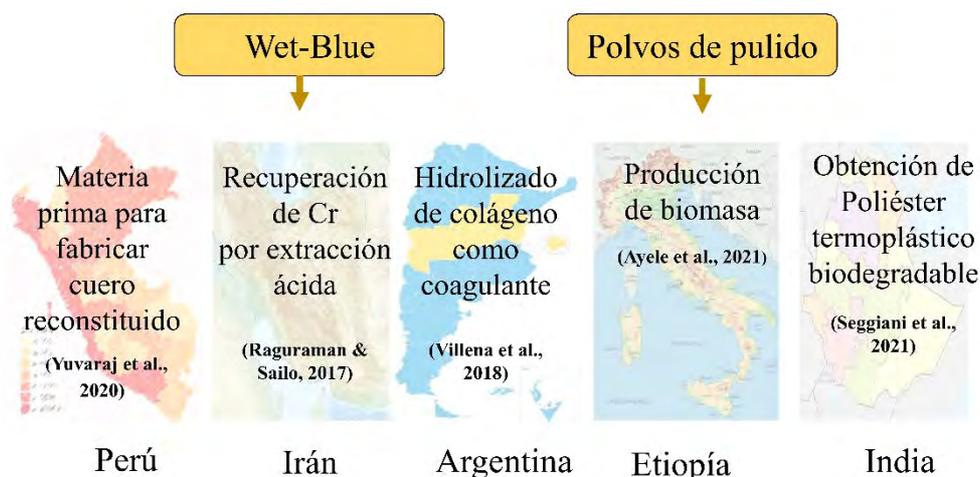
El continente asiático destaca como el mayor productor de cuero en el mundo (UN-FAO, 2013). India, al ser uno de los mayores productores de piel, busca de forma constante estrategias para mitigar el impacto ambiental. En una de las tantas investigaciones en India, se analizó la factibilidad de obtener un agente re-curtiente biodegradable de los restos pelo hidrolizado y ácido g-metacrílico (KH-g-MA) (Kadathur et al., 2022c).

Así también, en Bangladesh se busca aplicar las 3 R (reciclar, reutilizar y reducir), mediante el reciclaje de carnazas para la obtención de compost rico en nutrientes con una relación equilibrada C/N que puede ser utilizado en agricultura (Hashem et al., 2021b); mientras que en China se plateó la obtención de biodiesel a partir de residuos de descarte ricos en ácidos grasos (Li et al., 2019). En Irán se realizó la recuperación de cromo mediante método químico con extracción ácida de los lodos de curtiduría, posteriormente, se oxidó el Cr (III) a Cr (VI) y recuperó como sulfato de cromo (Raguraman & Sailo, 2017), tal como se puede ver en la Figura 7.

Tabla 2
Tratamientos experimentales para efluentes

	PAÍS	PROCESOS DE RECICLAJE	FUENTE	OBSERVACIONES
Ribera	India	Electro-oxidación foto asistida para eliminar sulfuros, cloruros y materia orgánica reduciendo la concentración de DQO en las aguas de curtiduría y reciclar las aguas para el proceso de curtido de pieles	(Selvaraj et al., 2020)	Método fácil de aplicar, elevados costos energía eléctrica, consumo eléctrico 0,30 kWhL ⁻¹ .
	España	Aplicación de una membrana de nanofiltración y una membrana de osmosis inversa para eliminar los sólidos en suspensión, iones sulfuros y cloruros de las aguas residuales.	(Fernández et al., 2022)	Método fácil de aplicación hay equipos industriales diseñados y listos para el uso
	Bangladesh	El uso de lodos generados en las aguas residuales de curtiembres para la obtención de bio-carbón como agente adsorbente de metales pesados.	(Payel et al., 2021)	Método fácil, la adsorción es utilizada industrialmente remoción de cromo de 152.12 mg/g a 533.41 mg/g
	Turquía	Coagulación- floculación para obtener un aditivo de las partículas sólidas separadas y mezclarlo con el mortero para la fabricación de ladrillos para construcción	(Köseoglu et al., 2017)	Alto costo proceso sinterizado a temperatura mayor 900°C.
	Argelia	Recuperar y reutilizar proteínas y aminoácidos utilizando una doble membrana de intercambio iónico recubierta con una membrana de ultrafiltración (UF) impermeable que pueden ser utilizadas con fines comerciales.	(Tamersit et al., 2018)	El proceso es costoso, proceso difícil por el alto costo de la membrana.
	China	Síntesis de óxido de grafeno magnético (GO/ Fe ₃ O ₄) como agente adsorbente.	(Cheng et al., 2021)	Proceso costoso, experimental.
Curtido	China	Recuperación del cromo a partir de lodos generados de las aguas residuales de curtiembres.	(Du et al., 2022)	Recuperación cromo 99,12%. Proceso fácil y aplicable.
	India	Extracción de cromo mediante el uso de una membrana de electro flotación y reciclaje del agua del proceso de curtido.	(Selvaraj et al., 2018)	Costo elevado 19 \$/m ³ a escala laboratorio. Proceso fácil.
	China	Obtención de cromo para posteriormente transformarlo en sulfato de cromo y este utilizar como agente re-curtiente	(Hongrui et al., 2017)	Proceso fácil de implementar. Costo bajo.
Post-curtido	Brasil	Reutilizar el agua residual del proceso de post-curtido tratadas por método químico de coagulación/floculación y posterior tratamiento biológico para eliminar materia orgánica y compuestos azufrados.	(Klein et al., 2022b)	Fácil de implementar costo bajo.
	India	Recuperación de metales pesados para utilizarlos como materia prima en la fabricación de pigmentos y cerámicas.	(Verma et al., 2019c)	Fácil de implementar costo bajo.
	India	Eliminación de metales pesados de los efluentes residuales de curtiembres para volver a utilizar los mismos para el curtido de pieles.	(Shukla et al., 2021b)	Fácil de implementar costo bajo.

Los polvos de pulido son los residuos sólidos menos abundantes, por ende, existe poco interés para su reciclaje y reutilización. En Etiopía, un proyecto se enfocó en la producción de biomasa a partir de residuos de descarte, restos de piel, pelo, wet-blue y polvos de pulidos, esta biomasa puede ser reutilizada para producir productos con valor agregado como bioplásticos, bio-fibras, materiales absorbentes, aditivos y tensioactivos ecológicos que contribuyen a la disminución del impacto ambiental negativo (Ayele et al., 2021b). Como ya se conoce, India es un país con gran interés es aplicar tecnologías de reciclaje para sus residuos sólidos de curtiembres y para reciclar los polvos de pulido se desarrolló un proyecto donde estos se mezclan con wet-blue y poli-succinato de butileno para producir un poliéster termoplástico biodegradable (Seggiani et al., 2021).

Figura 7*Residuos Sólidos de la Etapa de Curtido y Post-curtido.*

Nota: En la Figura se muestra los principales productos obtenidos a partir de los residuos recortes de wet blue y los polvos de pulido. Fuente: Autoría propia (2023).

Brasil, como el país con más ganadería en Latinoamérica, busca aprovechar los residuos sólidos, como los restos de piel y carne, para la producción de biogás como una fuente de energía eco-amigable mediante la degradación de estos residuos, utilizando microorganismos anaerobios (Agustini et al., 2020b). En Argentina se utilizan los residuos de wet-blue para la obtención de hidrolizado de colágeno y su uso como agente coagulante en tratamientos de aguas residuales de curtiembre (Villena et al., 2018).

Los países de la región andina, en especial Perú, Colombia y Ecuador están trabajando para reciclar residuos sólidos de curtiembres. Perú tiene una mínima participación en el comercio del cuero en Latinoamérica, sin embargo, sus investigadores han llevado a cabo varios estudios de remediación para esta industria, por ejemplo, el trabajo realizado por Chuquimango Juber, 2019, donde se demostró que se puede obtener queratina del pelo vacuno tratado con hidróxido de calcio. En esta investigación se llevaron a cabo 27 ensayos en los que variaron la concentración de hidróxido de calcio aplicado al pelo residual, los cuales permitieron obtener un porcentaje de queratina, aproximadamente del 27.33%. También en este país se ha desarrollado un proceso industrial para el aprovechamiento del wet-blue en la elaboración de cuero reconstituido (Yuvaraj et al., 2020). En Colombia, más que tratamientos de reciclaje, se están especializando en tratamientos para reducir los desechos y para convertir los residuos sólidos en combustibles con mayor poder combustible (Forero-Nuñez, 2022), así como elaborar bases proteicas de carnaza residual de curtiembres para obtener balanceados animales (Quipo, 2020).

Situación actual de los tratamientos y procesos de reciclaje en Ecuador

En Ecuador se encontraron siete artículos sobre procesos de reciclaje aplicados industrialmente para reutilizar los residuos de curtiembres. Estas investigaciones se enfocan en utilizar residuos sólidos como carnazas, restos de piel y pelo animal para la obtención de productos varios como se observa en la Figura 8.

En el caso de los efluentes, luego de la reducción de contaminantes, el agua se recircula al proceso ilimitado número de veces.

Figura 8*Reciclaje de Residuos Provenientes de Curtiembres en Ecuador*

Nota: Posibles productos que se pueden obtener con la tecnología de las curtiembres ecuatorianas. *Fuente:* Autoría propia (2023).

La grasa pegada a la piel, residuo del descarte, debido a su alto contenido de ácidos grasos, sirve para fabricar un tensoactivo de valor comercial (Parada et al., 2018). Los restos de piel más las carnazas de la etapa de dividido y descarte, por su contenido de proteínas y aminoácidos, son óptimos para la nutrición del animal (M. Rivera et al., 2020), finalmente, en el compostaje se aprovecha el pelo animal, por su relación adecuada de C/N; además con los restos de carnaza se elabora biodiesel (Puente et al., 2020). Como se puede observar en los estudios encontrados, las curtiembres ecuatorianas están muy interesadas en convertir los residuos en nuevos productos comercializables y en la reducción del pago de multas.

Las tecnologías aplicables en el país, según los documentos revisados en esta investigación, se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3*Tecnologías útiles para tratamiento y reciclaje de residuos de curtiembres en Ecuador*

Residuo	Tecnología asociada	Beneficios	Citas
Aguas residuales	Procesos de coagulación. Procesos químicos combinados. Procesos de adsorción.	Reducir contaminación de aguas hasta cumplir normas TULSMA.	(Calucho, 2019) (Mera Parra, 2018) (Valle, 2018)
Residuos sedimentos ricos en cromo	Tratamientos fisicoquímicos. Compactación	Recuperación de cromo para reutilización en curtiembre. Reducción de la cantidad de residuos.	(Camacho, 2019) (Suhendra et al., 2020) (Cisneros, 2018) (Puhazselvan et al., 2022)
Carnaza	Obtención de grasas y bases proteicas para alimentación animal.	Procesos de cocción y secado.	(M. P. Rivera et al., 2020)
Pelo	Hidrólisis ácidas, básicas, enzimáticas.	Obtención de queratina.	(Pan et al., 2023)
Recortes de cuero residual y colas de vaca	Hidrólisis Químicas Proceso pelambre química seguido de secado controlado.	Obtención de colágeno, pegamento. Compost y fertilizantes. Elaboración de juguetes para perros.	(Ravindran et al., 2019) (Tujjohra et al., 2023)
Recortes Wet-blue	Hidrólisis Químicas Composites	Obtención de colágeno, pegamento.	(Gebremariam et al., 2023) (Masilamani et al., 2023)

En Ecuador, el proceso de descontaminación de aguas residuales y el reciclaje de estos residuos se encuentra en una etapa incipiente debido a dos razones principales. En primer lugar, la informalidad del sector de producción de cuero, lo que dificulta la implementación de medidas adecuadas de descontaminación, reutilización y disposición adecuada de aguas residuales. En segundo lugar, que los costos (GAD Municipal de Ambato, 2020), asociados a la eliminación de residuos, son más bajos que los afrontados durante la investigación, tratamiento y recirculación de aguas residuales.

Sin embargo, es fundamental avanzar en la implementación de tecnologías más eficientes en el contexto ecuatoriano. Esto requerirá un enfoque integral que abarque desde la concientización hasta la inversión en infraestructuras para el tratamiento de residuos de curtiembres. A medida que se solicitan más opciones y soluciones en el país, es necesario explorar y adoptar tecnologías que permitan un tratamiento más efectivo de las aguas residuales y una reducción significativa de la contaminación ambiental.

Conclusiones

En conclusión, este trabajo ha realizado un análisis exhaustivo de la literatura científica, de los últimos cinco años, sobre los tratamientos y procesos de reciclaje de residuos líquidos y sólidos de curtiembres a nivel mundial y en Ecuador. Se ha observado que India, China y Bangladesh han implementado procesos de reciclaje más avanzados en comparación con otros países. Además, se ha identificado que Brasil es el líder en el reciclaje de residuos de la etapa de post-curtido en América Latina.

Sin embargo, se ha constatado una falta de investigación científica profunda en Ecuador sobre este tema, ya que la mayoría de los estudios se encuentran en tesis universitarias y muy pocos están publicados en revistas científicas regionales. Además, no se ha encontrado ningún artículo ecuatoriano publicado en revistas indexadas Scopus. Esto indica una necesidad de promover y fomentar la investigación de alta calidad en el país.

Es importante destacar que las curtiembres en Ecuador están enfocadas en tecnologías que conviertan los residuos sólidos en productos comercializables, en lugar de invertir en investigaciones costosas para disminuir los residuos enviados a los vertederos o lechos acuosos. Los artículos revisados muestran que existe una tendencia a buscar procesos y tecnologías que cumplan al menos con los parámetros legales de descarga de efluentes o que reduzcan la contaminación lo suficiente como para permitir la recirculación de estos.

Este análisis proporciona una base sólida para identificar las tecnologías más adecuadas y eficientes que podrían ser implementadas en las curtiembres ecuatorianas, con el objetivo de mejorar la gestión ambiental y promover la sostenibilidad en esta industria. No obstante, se requiere un mayor compromiso de la industria y los investigadores ecuatorianos para lograr resultados similares a los reportados a nivel mundial en términos de reducción de contaminación y reciclaje de residuos en las curtiembres ecuatorianas.

Reconocimientos

Este trabajo ha sido parte del Proyecto de Investigación “Proyecto reciclaje de residuos Wet-Blue para producir un adhesivo para zapatos”, código SFFCIAL07.

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por los recursos brindados y conocimientos impartidos y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE).

Participación de autores

Dayana Anchatipán, redacción del artículo, ilustración.

Nelly Flores, revisión, edición y formato.

Referencias

- Agustini, C., Costa, M., & Gutterres, M. (2020a). 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>
- 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. In *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. In *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>
- Calucho, J. (2019). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre San Miguel de la ciudad de Ambato Provincia de Tungurahua periodo 2018* [Universidad Tecnológica Indoamérica]. <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1134/1/Calucho%20Saillema%20Juan%20Nolberto.pdf>
- Camacho, R. (2019). *Diseño y construcción de una máquina compactadora de residuos sólidos para la empresa curtiembre Quisapincha* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20073/1/CD-9512.pdf>
- CFN. (2021). Ficha sectorial cuero subgerencia de análisis de productos y servicios. 1–15. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Cuero.pdf>
- 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>
- Cisneros, D. (2018). *Propuesta de gestión de residuos municipales para la ciudad de Ambato (Ecuador)* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/125991/TFM DCisneros.pdf>
- 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.
- Chuquimango, J. (2019). *Influencia de la concentración del Hidróxido de calcio y peso del pelo vacuno de residuos de curtiembre para la obtención de queratina*. Universidad César Vallejo.
- 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>

- 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>
- Forero-Nuñez, C. (2022). Vista de Mejoramiento energético de residuos sólidos de cuero curtido mediante tratamiento térmico. *Ingeniería y Desarrollo*. <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/5353/6698>
- Gebremariam, E. C., Malede, Y. C., Prabhu, S. V., Varadharajan, V., Manivannan, S., Jayakumar, M., & Gurunathan, B. (2023). Development of bio-based adhesive using tannery shaving dust: Process optimization using statistical and artificial intelligence techniques. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101413. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2023.101413>
- 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>
- Hansen, E., Aquim, R., & Gutterres, M. (2021). Environmental assessment of water, chemicals and effluents in leather post-tanning process: A review. In *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. (2021a). 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*.
- 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/>
- Jara, E. (2018). *Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental* [Universidad César Vallejo]. moz-extension://6422d3bd-5446-4050-bcfc-dd5150aa1bd8/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Frepositorio.ucv.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2F20.500.12692%2F54374%2FJara_VEA-SD.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy
- Kadathur, R., Murali, S., Balaraman, M., Sellamuthu, J., & Palanivel, S. (2022a). 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>
- Kamaraj, C., Lakshmi, S., Rose, C., & Muralidharan, C. (2017). Wet Blue Fiber and Lime from Leather Industry Solid Waste as Stabilizing Additive and Filler in Design of Stone Matrix Asphalt. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 7(11), 240. <https://doi.org/10.5958/2249-7315.2017.00547.0>
- Klein, R., Hansen, É., & Aquim, P. (2022a). 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>
- Korpe, S., & Venkateswara, R. (2021). Application of advanced oxidation processes and cavitation techniques for treatment of tannery wastewater - A review. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Issue 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105234>
- 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>

- Lascano, N., Morales, L., Cordova, A., & Chisag, G. (2019). Modelo de responsabilidad social del sector curtiembre del cantón Ambato, Ecuador. In *Resvita Inclusiones* (Vol. 6, Issue Enero).
- 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.
- 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>
- 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.
- Masilamani, D., Ariram, N., Balaraman, M., & Palanivel, S. (2023). An integrated process for effective utilization of collagenous protein from raw hide trimmings: Valorization of tannery solid wastes. *Journal of Cleaner Production*, 137705. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137705>
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(3), 331–340. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Mera Parra, C. P. (2018). *Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la empresa “Curtiembre Quisapincha” del cantón Ambato provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27452>
- Figuerola, L., & -Perú, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza a complejantes de cromo. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 80(3), 183–191. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Moscoso, A. M. (2019). *Comentario legislativo: “El nuevo marco jurídico en materia ambiental en Ecuador: estudio sobre el Código Orgánico del Ambiente”* « Actualidad Jurídica Ambiental | AJA. <https://www.actualidadjuridicaambiental.com/comentario-legislativo-el-nuevo-marco-juridico-en-materia-ambiental-en-ecuador-estudio-sobre-el-codigo-organico-del-ambiente/>
- 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.
- Pan, F., Xiao, Y., Zhang, L., Zhou, J., Wang, C., & Lin, W. (2023). Leather wastes into high-value chemicals: Keratin-based retanning agents via UV-initiated polymerization. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135492. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135492>
- 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., 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>
- 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>
- Puhazhselvan, P., Pandi, A., Sujiritha, P. B., Antony, G. S., Jaisankar, S. N., Ayyadurai, N., Saravanan, P., & Kamini, N. R. (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>
- Quipo, F. (2020). *Obtención de una base proteica a partir de los residuos sólidos de curtiembres para la manufactura de alimentos balanceados* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básica, Tecnología e Ingeniería Especialización en Proesos de Alimentos y Biomateriales]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/35692/fequipom.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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>
- Rajamanickam, R., Subramanian, S., Ganapathy, P., & Chiampo, F. (2022). Zero Liquid Discharge System for the Tannery Industry—An Overview of Sustainable Approaches. *Recycling*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/recycling7030031>
- Ravindran, B., Lee, S. R., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Chung, W. J., Balasubramanian, B., Mupambwa, H. A., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., & Sekaran, G. (2019). Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste-animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. *Journal of Environmental Management*, 234, 154–158. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.12.100>
- Rigueto, C. V. T., Rosseto, M., Krein, D. D. C., Ostwald, B. E. P., Massuda, L. A., Zanella, B. 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. (2020a). 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. http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/14582/1/per_n23_v1_09.pdf
- 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>
- Salinas, V. (2014). *El cuero producción industrial y artesanal en el Ecuador*. Universidad de Azuay.
- Sawalha, H., Alsharabaty, R., Sarsour, S., & Al-Jabari, M. (2019a). 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. In *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety* (pp. 381–398). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_17
- 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>
- 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. (2022a). Extraction of keratin from unhairing of bovine hide. *Chemical Engineering Communications*, 209(1), 118–126. <https://doi.org/10.1080/00986445.2020.1842740>
- Suhendra, A. D., Asworowati, R. D., & Ismawati, T. (2020). Usos y aplicaciones de los subproductos de la industria del cuero. *Akrab Juara*, 5(1), 43–54. <http://www.akrabjuara.com/index.php/akrabjuara/article/view/919>
- Tamersit, S., Bouhidel, K. E., & Zidani, Z. (2018). Investigation of electrodialysis 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>
- 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. (2018a). 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>
- Tujjohra, F., Alam, M. S., Rahman, M. M., & Rahman, M. M. (2023). An eco-friendly approach of biodiesel production from tannery fleshing wastes by crude neutral protease enzyme. *Cleaner Engineering and Technology*, 14, 100638. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2023.100638>
- UN-FAO. (2013). World statistical compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear 1993-2012. In *Trade and Markets Division*. http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Hides_Skins/Documents/COMPENDIUM2013.pdf
- Urbina, A., Machuca, N., & Fiderman, B. (2021). *molecules Advanced Oxidation Processes and Biotechnological Alternatives for the Treatment of Tannery Wastewater*. <https://doi.org/10.3390/molecules26113222>

- Valle, J. (2018). *Ddesarrollo de una ingeniería conceptual para el tratamiento de aguas residuales, provenientes de curtiembres de tipo artesanal e industrial de la provincia de Tungurahua* [Escuela Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoche.edu.ec/bitstream/123456789/11053/1/96T00534.pdf>
- Verma, T., Tiwari, S., Tripathi, M., & Ramteke, P. (2019a). Treatment and Recycling of Wastewater from Tannery. In *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>
- Yadav, A., Raj, A., Purchase, D., Ferreira, L. F. R., Saratale, G. D., & Bharagava, R. N. (2019). Phytotoxicity, cytotoxicity and genotoxicity evaluation of organic and inorganic pollutants rich tannery wastewater from a Common Effluent Treatment Plant (CETP) in Unnao district, India using *Vigna radiata* and *Allium cepa*. *Chemosphere*, 224, 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.124>
- Yasir, M. W., Siddique, M. B. A., Shabbir, Z., Ullah, H., Riaz, L., Nisa, W. U., Shafeeq-ur-rahman, & Shah, A. A. (2021a). Biotreatment potential of co-contaminants hexavalent chromium and polychlorinated biphenyls in industrial wastewater: Individual and simultaneous prospects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 779). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146345>
- Yuvaraj, A., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., Awasthi, M. K., Kannan, S., & Thangaraj, R. (2020). 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>
- Zhao, J., Wu, Q., Tang, Y., Zhou, J., & Guo, H. (2022). Tannery wastewater treatment: conventional and promising processes, an updated 20-year review. *Journal of Leather Science and Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-022-00082-7>