



# Residuos de curtiembre y alternativas de aprovechamiento: Una revisión con enfoque bibliométrico

## Tannery waste and utilization alternatives: A review with a bibliometric approach

Maycon Andrade<sup>1</sup>; Alicia López<sup>1\*</sup>; Juan Solano-Gaviño<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

\* Autor correspondiente: [t512401220@unitru.edu.pe](mailto:t512401220@unitru.edu.pe) (A. López).

ORCID de los autores:

A. López: <https://orcid.org/0009-0009-1766-9521>

M. Andrade: <https://orcid.org/0009-0002-3520-3839>

J. Solano-Gaviño: <https://orcid.org/0000-0003-1374-9558>

### RESUMEN

La presente investigación aborda alternativas para aprovechar los desechos sólidos producidos en la industria del cuero, enfocándose en la economía circular y la sostenibilidad. A través de una revisión exhaustiva de literatura científica y un análisis bibliométrico, se identificó un aumento significativo en la producción científica durante el 2011 y 2024, especialmente en el área de gestión y valorización de residuos, que abarca el 36 % de los artículos analizados. India lidera los rankings de publicaciones en volumen e impacto, por su enfoque en resolver problemas críticos de interés global, mientras que Brasil resalta por el alto promedio de citas de sus investigaciones. El mapeo de co-ocurrencia identificó tres clústeres, enfocado en los procesos bioquímicos y propiedades del cuero, impacto de los residuos y el tratamiento de los efluentes. El colágeno y grasa extraída de las carnazas y recortes de piel mediante procesos de hidrólisis y extracción asistida, se aprovechan para la obtención de biocombustibles, jabones e hidrogeles. También, se pueden obtener recurtidores, queratina, absorbentes, compost y biocarbón, a partir de los demás residuos sólidos generados en las curtiembres. Este estudio sugiere orientar futuras investigaciones hacia la valorización de residuos de curtidería con aplicaciones en biomedicina e industria alimentaria, como biopelículas, matrices para tejidos y recubrimientos comestibles, así como en tecnologías ambientales basadas en biosorbentes, todo ello bajo un enfoque de sostenibilidad y economía circular.

**Palabras clave:** Economía circular; grasa; biocombustibles; colágeno; hidrogeles.

### ABSTRACT

This research addresses alternatives for utilizing solid waste produced in the leather industry, focusing on the circular economy and sustainability. Through a comprehensive review of scientific literature and bibliometric analysis, a significant increase in scientific production was identified between 2011 and 2024, especially in the area of waste management and recovery, which accounts for 36% of the articles analyzed. India leads the publication rankings in volume and impact, due to its focus on solving critical problems of global interest, while Brazil stands out for the high average citation rate of its research. Co-occurrence mapping identified three clusters, focusing on the biochemical processes and properties of leather, the impact of waste, and effluent treatment. The collagen and fat extracted from skin trimmings and hides through hydrolysis and assisted extraction processes are used to obtain biofuels, soaps, and hydrogels. Tanners, keratin, absorbents, compost, and biochar can also be obtained from the other solid waste generated in tanneries. This study suggests that future research should focus on the valorization of tannery waste with applications in biomedicine and the food industry, such as biofilms, tissue matrices, and edible coatings, as well as in environmental technologies based on biosorbents, all within a framework of sustainability and the circular economy.

**Keywords:** Circular economy; fat; biofuels; collagen; hydrogels.

Recibido: 02-01-2025.

Aceptado: 14-06-2025



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

A través de los años, los residuos generados de la industria del cuero constituyen una de las fuentes principales de contaminación medioambiental (FAO, 2024). Sin embargo, esta industria es uno de los sectores económicos más relevantes en las naciones de desarrollo. Verma & Sharma, (2023) afirman solo el 20% de la materia prima se transforma, mientras que el 80% restante se desecha como residuos sólidos y líquidos.

Además, la principal causa de contaminación de esta industria son los desechos de piel, pelo, carne, grasa y proteínas no estructurales que se eliminan durante el proceso de pre curtido (Onem et al., 2024). Según Ongarora et al. (2019) el proceso de descarnado es el que produce mayor cantidad de residuos sólidos, que constituyen el 50 a 60 % del total. Con el tiempo, se han implementado diversas estrategias para reducir y reciclar los residuos sólidos del cuero (RSC) permitiendo la producción de energía renovable, biocombustibles, fertilizantes, proteínas, grasas y enzimas; así como materiales de construcción y biodegradables (Verma & Sharma, 2023).

Asimismo, Suparno et al. (2012) afirman que este proceso produce una cantidad significativa de grasa (4-18 %), que suelen ser extraídas por diversos métodos que han ido evolucionando, para luego ser aprovechados en la fabricación de diversos productos, como biocombustibles, agentes curtientes de cuero, jabones, derivados grasos y otros.

Bragança et al. (2013) utilizaron la grasa extraída para la producción de aceites sulfatados, el método que empleó fue hidrólisis, donde los factores a tomar en cuenta fue la temperatura, el tiempo de hidrólisis, el porcentaje de enzimas y agua. Asimismo, Sandhya et al. (2016) realizaron la extracción de aceite de carnosidad enclada con diferentes procesos de neutralización con cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) y ácido clorhídrico (HCl)

seguido de extracción con disolventes para la producción de biodiesel. Del mismo modo, para la generación de biocombustible Devaraj et al. (2018) realizaron una extracción completa de lípidos a través de dos métodos: el método de extracción ácido/base y método Soxhlet asistida por hidrólisis ácida. Por otro lado, de Souza et al. (2022) recuperó la queratina a partir de los desechos de pelo obtenidos del descortezado de la piel bovina, con potencial para nuevos subproductos.

Además, se ha documentado en investigaciones recientes que el aprovechamiento de residuos orgánicos de otras biomásas, como fibras vegetales, bagazos y especies como el *Agave americana*, puede representar una fuente valiosa para la producción de materiales funcionales como el carbón activado. Este tipo de estudios ha permitido que Linda et al. (2025) puedan demostrar que tales residuos también pueden ser transformados mediante procesos termoquímicos en adsorbentes eficaces para la remoción de contaminantes en medios acuosos, promoviendo un enfoque integral de sostenibilidad que complementa los avances en la valorización de residuos de cuero.

Las soluciones presentadas brindan alternativas para la protección del medio ambiente, asimismo, permiten que las empresas curtidoras gestionen sus residuos reduciendo los altos costes que incurrir durante su eliminación (Wrzesińska-Jędrusiak et al., 2023). Además, la incorporación de los residuos del cuero como materia prima reduce sustancialmente el gasto total del proceso bajo el enfoque de la bioeconomía circular (Vučurović et al., 2024).

El objetivo de la presente investigación fue realizar una evaluación de las alternativas de aprovechamiento de material sólido residual en la industria de producción de cuero, a partir de un análisis bibliométrico de recursos bibliográficos para el periodo 2011-2024.

## METODOLOGÍA

### Criterios para la búsqueda de información

Se empleó la base de datos Scopus para la recopilación de información. Los términos de búsqueda fueron "Application", "tannery", "solid" y "waste", combinadas mediante el operador lógico AND en los campos de búsqueda: título, resumen y palabras clave. Además, no se excluyeron campos de estudio. Como resultado, se encontraron 155 referencias bibliográficas para los términos

seleccionados. Así mismo, se incluyeron documentos en diferentes idiomas para asegurar una visión global del tema. Respecto al periodo de análisis, se consideraron únicamente publicaciones desde el año 2011 hasta 2024. La Tabla 1 presenta los criterios inclusión y exclusión tomados en cuenta para la selección de los documentos científicos, quedando un total de 81 artículos originales.

**Tabla 1**  
Resumen de criterios para la búsqueda en Scopus

	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
<b>Tipo de estudio</b>	- Experimentales - Estudio de casos	-Estudios pobres o no revisados -Revisiones
<b>Año de publicación</b>	2011-2024	Menores a 2011
<b>Idioma</b>	Cualquier idioma	-
<b>Temática</b>	Aprovechamiento de residuos sólidos de curtiembre	Temas no relacionados
<b>Palabras clave</b>	"Application", "tannery", "solid", "waste"	Palabras no relacionadas con el tema

### Análisis de datos

El análisis de la data científica se realizó con los softwares VOSviewer versión 1.6.20 y el paquete Bibliometrix de R y RStudio. Se utilizó el software VOSviewer como herramienta para la visualización y análisis de redes bibliométricas, creación de mapas de relaciones entre palabras clave del autor,

permitiendo así una representación visual de las conexiones más relevantes en el campo de estudio. Por otro lado, el paquete Bibliometrix permitió evaluar la productividad de autores, instituciones y países, analizando la cantidad de publicaciones en un periodo determinado y observando tendencias a lo largo del tiempo.

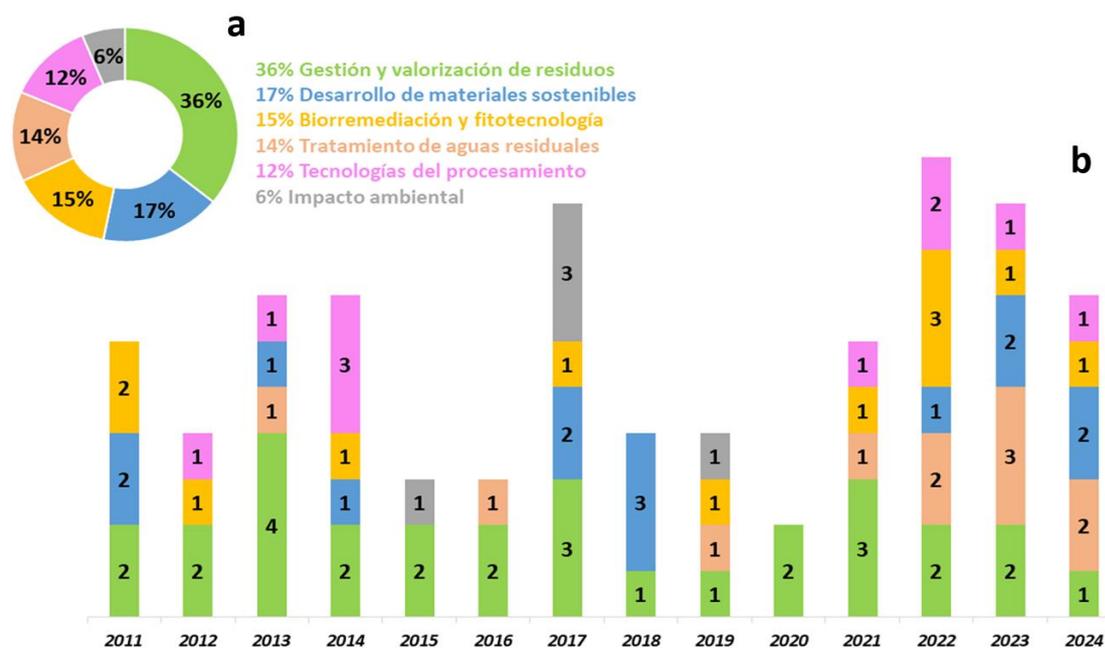
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción científica

La Figura 1 muestra la producción científica para la temática de búsqueda durante el periodo 2011-2024. La Figura 1a evidencia que del total de publicaciones analizadas el 36% se centró en la Gestión y valorización de residuos, destacando estudios que exploran la obtención de compuestos bioactivos, como la elastina, a partir de recortes de cuero crudo, demostrando su potencial para aplicaciones biomédicas por su biocompatibilidad. (Yoseph et al., 2020). El 17% abordó el Desarrollo de materiales sostenibles, donde Muralidharan et al. (2022) investigaron películas biodegradables elaboradas con gelatina de residuos de curtiduría reforzada con nanocelulosa, con propiedades mecánicas, térmicas y antibacterianas mejoradas, útiles para embalajes ecológicos. Un 15% corresponde a investigaciones en Biorremediación y fitotecnologías, Bonilla-Espadas et al. (2024) pusieron énfasis en el uso de bacterias aisladas de aguas residuales de curtiembres para degradar cuero curtido y eliminar metales pesados, ofreciendo alternativas limpias frente a métodos fisicoquímicos convencionales. Por su parte, el 14% se relaciona con el Tratamiento de aguas residuales, Saralegui et al. (2023) destaca el uso de residuos sólidos industriales como bioadsorbentes en reactores para remover contaminantes inorgánicos, fomentando la economía circular. En

cuanto a las Tecnologías de Procesamiento, que representan el 12%, Mengistu et al. (2024) han demostrado la viabilidad de extraer hidrolizado de queratina a partir de desechos capilares para mejorar el curtido del cuero y reducir el uso de productos químicos contaminantes. Finalmente, el 6% de los estudios se enfocó en el Impacto Ambiental, evidenciando los riesgos del uso de concentrados proteicos contaminados con cromo en alimentos para aves y peces, que pueden afectar la salud pública y aumentar la carga de metales pesados en el ambiente (Hossain et al., 2017).

La Figura 1b muestra una tendencia de incremento en el número de publicaciones a lo largo del tiempo, siendo particularmente notable entre los años 2021 y 2024, con picos en 2022 y 2023. Aunque las publicaciones eran limitadas hasta 2016, el interés por soluciones sostenibles parece haber crecido en los últimos años. Los trabajos recientes se concentran principalmente en áreas como la gestión y valorización de residuos, la biorremediación y el tratamiento de aguas residuales, reforzando la idea de un enfoque integral hacia la sostenibilidad ambiental. Este crecimiento y diversificación temática indican que las distintas áreas de investigación se complementan, contribuyendo conjuntamente a abordar los desafíos ambientales desde múltiples perspectivas.



**Figura 1.** Producción científica por área de investigación a) en porcentaje y b) por año, periodo 2011-2024 [Obtenido de Scopus. Criterio de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (application AND tannery AND solid AND waste) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2025 AND (EXCLUDE(DOCTYPE, "re")) AND (EXCLUDE(EXACTKEYWORDS: "Article", "Solid Wastes", "Tannery Solid Wastes", "Plant Roots", "Peptide Hydrolases", "Optimisations"))].

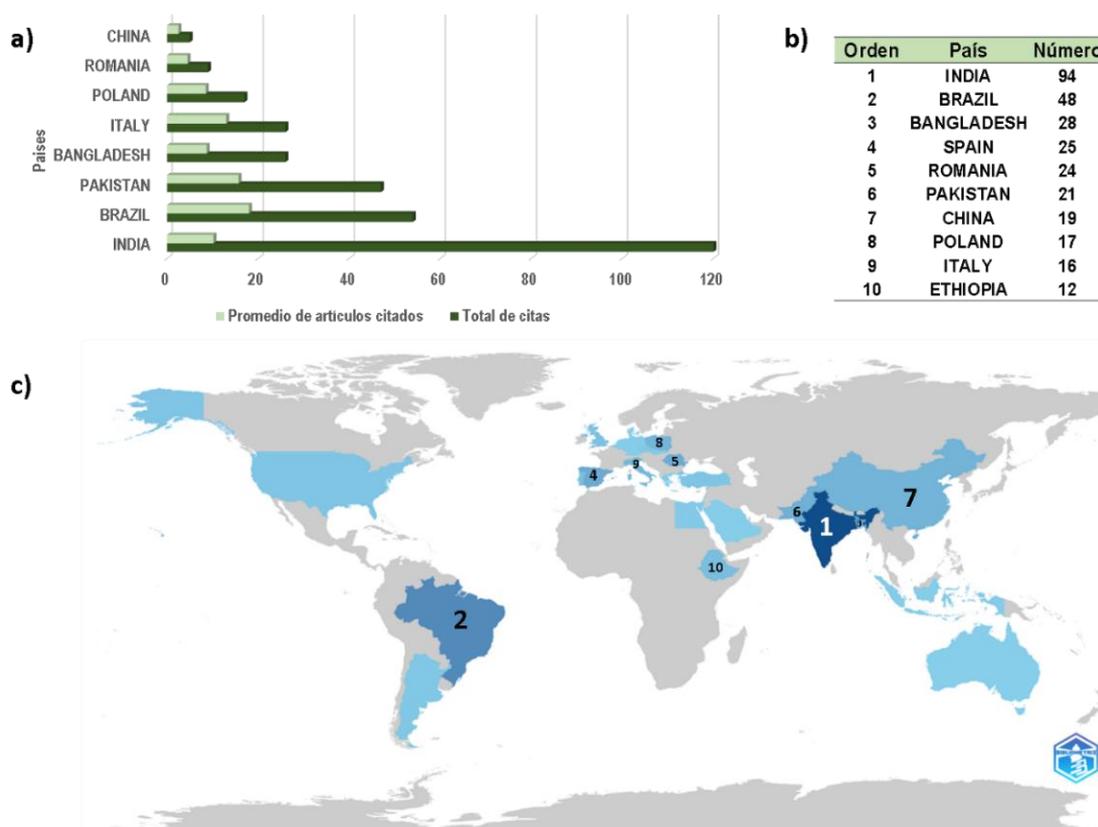
La Figura 2 muestra un análisis de la producción científica a nivel mundial, en función a los artículos publicados entre 2011 y 2024. En la Figura 2a se identifican los países más citados, donde se destaca a India con el mayor número de citas (TC), seguida por Brasil, Pakistán y Bangladesh. Además, se presenta el promedio de citas por artículo, lo que permite comparar la cantidad, con la calidad e impacto de las publicaciones científicas por cada país. Por su parte, la Figura 2b muestra un ranking con los diez principales países en producción científica, en tanto, la Figura 2c ofrece un mapa mundial que ilustra la distribución geográfica de la producción científica. Aunque ambos aspectos están relacionados, un alto volumen de publicaciones no siempre garantiza un mayor número de citas, ya que estas también dependen de la calidad, relevancia y aplicabilidad de los estudios. En ese marco, India lidera en todos los rankings, lo que refleja su alto volumen de publicaciones e impacto significativo en el campo. Esto se explica, por el enfoque del país en resolver problemas críticos como el tratamiento de residuos, que tienen gran interés global. Omoloso et al. (2021) subrayan que la relevancia de la industria del cuero en India es considerable, por lo que el enfoque en investigaciones relacionadas con la sostenibilidad es elevado. Por su parte, en América Latina, Brasil resalta por su alto promedio de artículos citados en el tiempo, demostrando la relevancia de las investigaciones en el campo del

conocimiento. Importantes países en producción y relevancia científica también son Bangladesh, Italia, España y Rumania.

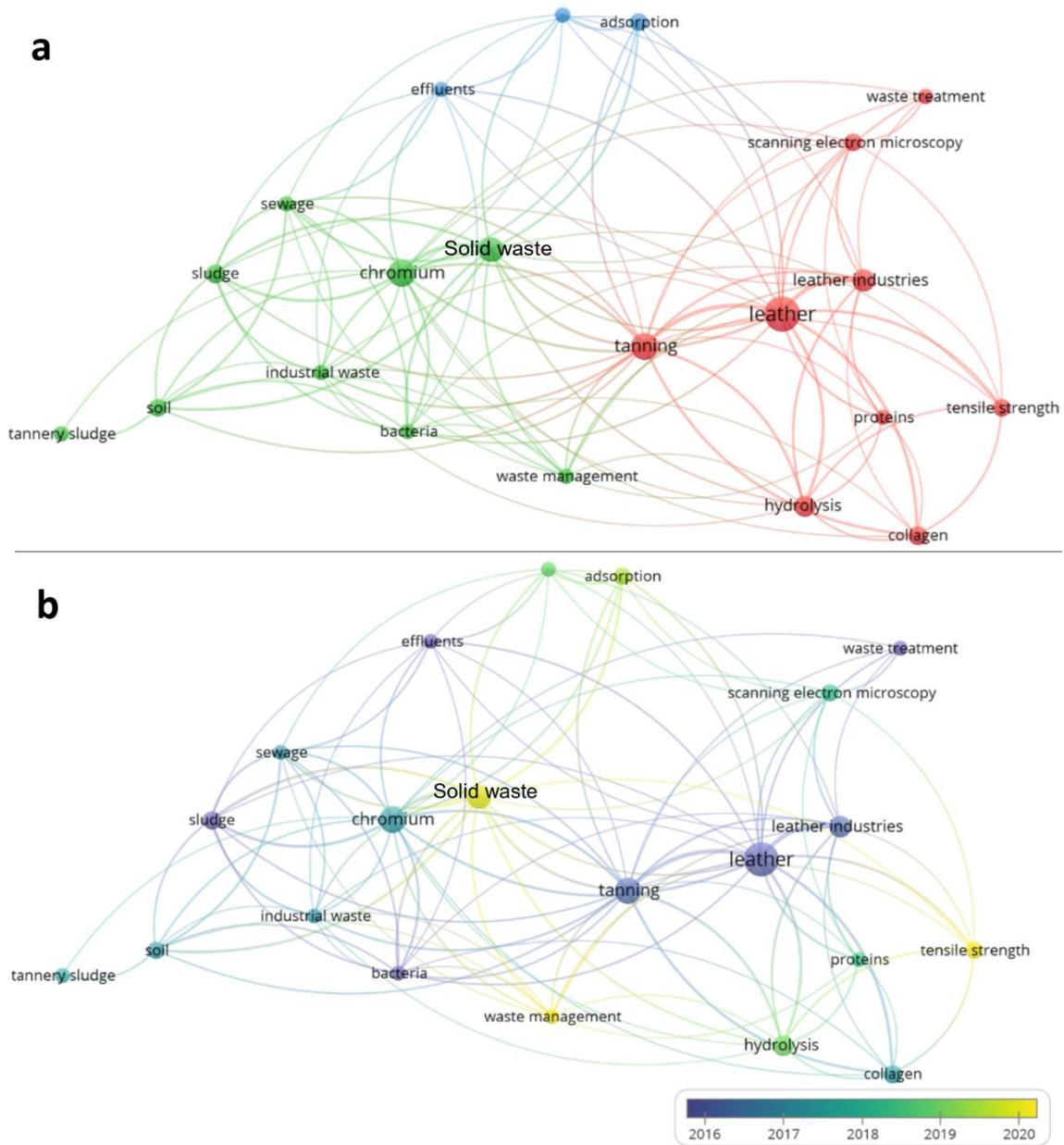
### Temas científicos relevantes

La Figura 3a generada por Vosviewer evidencia un mapeo de co-ocurrencia de palabras clave relacionadas a la industria del cuero y el manejo de los residuos. Se evidencia tres clústeres interconectados que reflejan aspectos técnicos, ambientales y químicos del sector.

El **clúster rojo** del mapa de co-ocurrencia de términos destaca conceptos clave como "leather", "collagen" e "hydrolysis", lo cual evidencia un enfoque científico centrado en los procesos bioquímicos aplicados al aprovechamiento del cuero y sus proteínas estructurales; en este contexto, el estudio de Ocak (2021) se alinea perfectamente, ya que emplea recortes de piel como materia prima para elaborar películas biodegradables, aprovechando la hidrólisis del colágeno presente en estos residuos, mientras que la incorporación de nanopartículas de quitosano busca mejorar propiedades funcionales como la resistencia mecánica y la biodegradabilidad, lo que también se vincula con términos presentes en dicho clúster como "tensile strength" y "proteins", consolidando así la tendencia investigativa hacia la revalorización de desechos sólidos de la industria del cuero mediante tecnologías sostenibles y funcionalización bioquímica.



**Figura 2.** Producción científica mundial a) Países más citados en número total de citas (TC) y promedio de artículos citados; b) Ranking de los diez primeros países en producción científica, periodo 2011-2024. c) Mapa de distribución [Obtenido de Bibliometrix].



**Figura 3.** Análisis de co-ocurrencia con palabras claves a) visualización de red, y b) visualización superpuesta. [Obtenido con VOSviewer].

De otro modo, el **clúster verde** se enfoca en los impactos ambientales derivados de la industria del cuero, lo cual se evidencia en la presencia de términos como “chromium”, “industrial waste” y “soil”, que reflejan preocupaciones científicas en torno a la contaminación del suelo, la acumulación de metales pesados y la gestión de lodos residuales provenientes del curtido; en este contexto, el estudio de Araújo et al. (2016) se vincula directamente con esta línea temática, ya que evaluaron el efecto de la aplicación repetida de lodos de curtidería compostados (CTS) sobre la biomasa microbiana del suelo y los organismos oxidantes de amoníaco, encontrando que, aunque la abundancia de bacterias no se vio alterada, las arqueas aumentaron significativamente con el tratamiento, lo que demuestra una respuesta diferencial de los microorganismos del suelo frente a la presencia de estos residuos; por tanto, este

estudio se integra al clúster verde al aportar evidencia sobre los efectos ecológicos de los residuos curtidores en suelos agrícolas, fortaleciendo la línea de investigación relacionada con la sostenibilidad, la ecotoxicología y el manejo adecuado de residuos industriales en el ambiente terrestre.

Por otro lado, el **clúster azul**, centrado en el tratamiento de residuos, agrupa términos como “effluents”, “adsorption” y “waste treatment”, los cuales evidencian un enfoque científico orientado al desarrollo de tecnologías para mitigar los contaminantes presentes en los efluentes industriales; en este sentido, se destacan procesos como la adsorción, ampliamente utilizados para remover metales pesados y compuestos orgánicos nocivos, lo que se vincula directamente con estrategias de gestión y valorización de residuos mediante procesos físico-químicos y biotecnoló-

gicos. A modo de ejemplo, el estudio de Younas et al. (2022) representa una aplicación concreta de esta tendencia, ya que emplearon residuos sólidos de curtiduría para elaborar biocarbón impregnado con microbios resistentes a metales (MIBC), cuya aplicación en suelos de cultivo permitió no solo atenuar la toxicidad asociada a metales pesados, sino también mejorar el rendimiento y la estabilidad fisiológica del girasol como cultivo energético, lo que demuestra cómo el tratamiento de residuos puede trascender el ámbito industrial y generar beneficios en la agricultura sostenible y la recuperación ambiental.

A partir de 2025, las tendencias más relevantes en la investigación sobre residuos de la industria del cuero se consolidan en tres líneas interconectadas: por un lado, se intensifica el desarrollo de biomateriales avanzados a partir de proteínas del cuero, especialmente colágeno hidrolizado, con aplicaciones en películas biodegradables, envases inteligentes y sistemas farmacéuticos funcionales, impulsados por la ingeniería de proteínas y la nanotecnología; por otro, se fortalece la investigación ambiental mediante enfoques metagenómicos y bioquímicos para comprender la respuesta de comunidades microbianas del suelo ante la presencia de contaminantes como el cromo, lo que favorece el diseño de estrategias de biorremediación más precisas y sostenibles; y, finalmente, se consolida el uso de tecnologías híbridas de tratamiento de residuos, como biocarbones funcionalizados y sistemas integrados de adsorción y biotransformación, orientados no solo a la descontaminación de efluentes, sino también a la rehabilitación de suelos y la generación de insumos agrícolas seguros, todo ello dentro de un enfoque de economía circular y evaluación del ciclo de vida.

La Figura 3b añade un análisis temporal que permite identificar cómo los temas han evolucionado a lo largo del tiempo, con colores que van del azul al amarillo, desde el 2016 al 2020. Los términos “tensile strength” y “collagen”, indican el interés reciente en la optimización de las propiedades del cuero y el reciclaje de residuos. Este análisis conjunto evidencia que la industria del curtido está avanzando hacia la sostenibilidad,

principalmente a través de dos prácticas clave: el desarrollo de tecnologías innovadoras y el estudio del impacto ambiental de los residuos generados. En cuanto al primer eje, se destaca el uso del hidrolizado de queratina (KH) extraído de residuos capilares de curtiduría como agente de agotamiento de cromo y relleno proteico, lo cual no solo mejora la resistencia mecánica y la estabilidad térmica del cuero, sino que también reduce significativamente la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos disueltos totales (TDS) en los efluentes. Esto demuestra que es una tecnología innovadora y ambientalmente amigable que contribuye a optimizar el proceso de curtido (Mengistu et al., 2024). Por otro lado, desde el enfoque ambiental, se han explorado alternativas como la conversión de residuos de cuero en fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, utilizando tanto tratamientos biológicos como térmicos, que han sido probados en condiciones controladas de invernadero. Este enfoque no solo permite reducir la carga contaminante de los residuos sólidos, sino también reincorporarlos al ciclo productivo agrícola, promoviendo así una transición hacia modelos de economía circular (Kuligowski et al., 2023).

La Figura 4 presenta dos nubes de palabras generadas por Bibliometrix que reflejan las principales tendencias de investigación sobre el tema de investigación en cuestión. En el intervalo 2011-2017 de análisis, los términos más destacados evidencian un enfoque centrado en la gestión de los residuos del proceso de curtido, especialmente aquellos con impacto ambiental significativo, como los compuestos del cromo. Shanthi et al., (2013) aislaron *Alcaligenes faecalis*, bacteria tolerante al cromo, observando que degradaba aproximadamente el 90% de las virutas de cromo en 120 h y generaba un contenido de 12 % de cenizas y 80 % de proteínas o péptidos en el hidrolizado, con  $3,14 \pm 2,0 \mu\text{g}$  de cromo/g de proteína; empleando cromatografía de filtración en gel y electroforesis con tricina-SDS-PAGE, reveló que el componente principal del hidrolizado estaba compuesto por péptidos pequeños con un peso molecular de 3-30 kDa.



Figura 4. Word Clouds de evolución de los enfoques de investigación más destacados en el aprovechamiento de residuos en la industria del cuero, periodo 2011-2017 y periodo 2018-2024 [Obtenido de Bibliometrix].

Asimismo, el intervalo 2011-2017 de análisis, muestra palabras clave como “biodegradation” y “collagen” las cuales sugieren investigaciones orientadas a mitigar el impacto ambiental y explorar el aprovechamiento de subproductos del cuero. Hussien et al. (2017) caracterizaron empleando cromatografía líquida rápida de proteínas (FPLC) y técnicas de desorción-ionización láser asistida por matriz-tiempo de vuelo (MALDI-TOF) hidrolizados de colágeno, mediante la hidrólisis enzimática de recortes encalados. El peso molecular de los hidrolizados de colágeno se observó en el rango de 1750 a 5800 daltons. Los hidrolizados de colágeno preparados con diversas concentraciones de tripsina (0,8, 1,0 y 1,2%) se utilizaron para el proceso de recurtido. El hidrolizado de colágeno, obtenido mediante hidrólisis con tripsina al 0,8 %, durante 3 horas, mostró una mejor absorción del colorante al utilizarse como recurtiente.

En contraste, durante el 2018-2024, el Word Cloud muestra un cambio hacia términos como “solid waste”, “hydrolysis” y “tensile strength”, reflejando un interés creciente en enfoques técnicos para la valorización de residuos. Yoseph et al. (2020) emplearon tratamientos termoquímicos con pretratamientos alcalinos para la extracción de elastina a partir de residuos de recortes de cuero crudo, mostrando rendimientos del 90 % y un punto de fusión de 104 °C para caracterización física empleando calorimetría diferencial de barrido. Asimismo, emergen conceptos relacionados con la sostenibilidad, como “circular economy” y “waste water treatment”, lo que indica un avance en tecnologías destinadas al manejo

eficiente y sostenible de los residuos. Aunque términos ambientales como “soil pollutants” y “composting” siguen siendo relevantes, el énfasis se amplía hacia la implementación de prácticas tecnológicas avanzadas y sostenibles. Mikula et al., (2022) seleccionaron parámetros de proceso (ratio másico, concentración del medio de hidrólisis y temperatura) y metodología de superficie de respuesta (MSR), en virutas sólidas de curtiduría para la producción de fertilizantes siguiendo el concepto de la economía circular. Las concentraciones de cromo en hidrolizados de virutas de S y SCr obtenidas en condiciones óptimas fueron de 15,2 mg/kg y 9483 mg/kg, respectivamente. Los hidrolizados contenían principalmente glicina, alanina y prolina, que son los principales responsables de estimular el crecimiento de las plantas al favorecer la síntesis de clorofila, quelar micronutrientes, mejorar la fertilidad del polen o la resistencia a bajas temperaturas.

En conjunto, la evolución muestra una transición de la simple gestión de residuos hacia estrategias integrales de reutilización y sostenibilidad, alineadas con las tendencias actuales de economía circular y reducción del impacto ambiental.

En el mapa temático de la Figura 5 se analiza la relación entre el grado de desarrollo (densidad) y la relevancia (centralidad) de diferentes temas relacionados con la industria del cuero y la gestión de residuos. En el cuadrante de Temas motores, destacan áreas clave como el control ambiental y el manejo de desechos sólidos, fundamentales para promover la sostenibilidad.

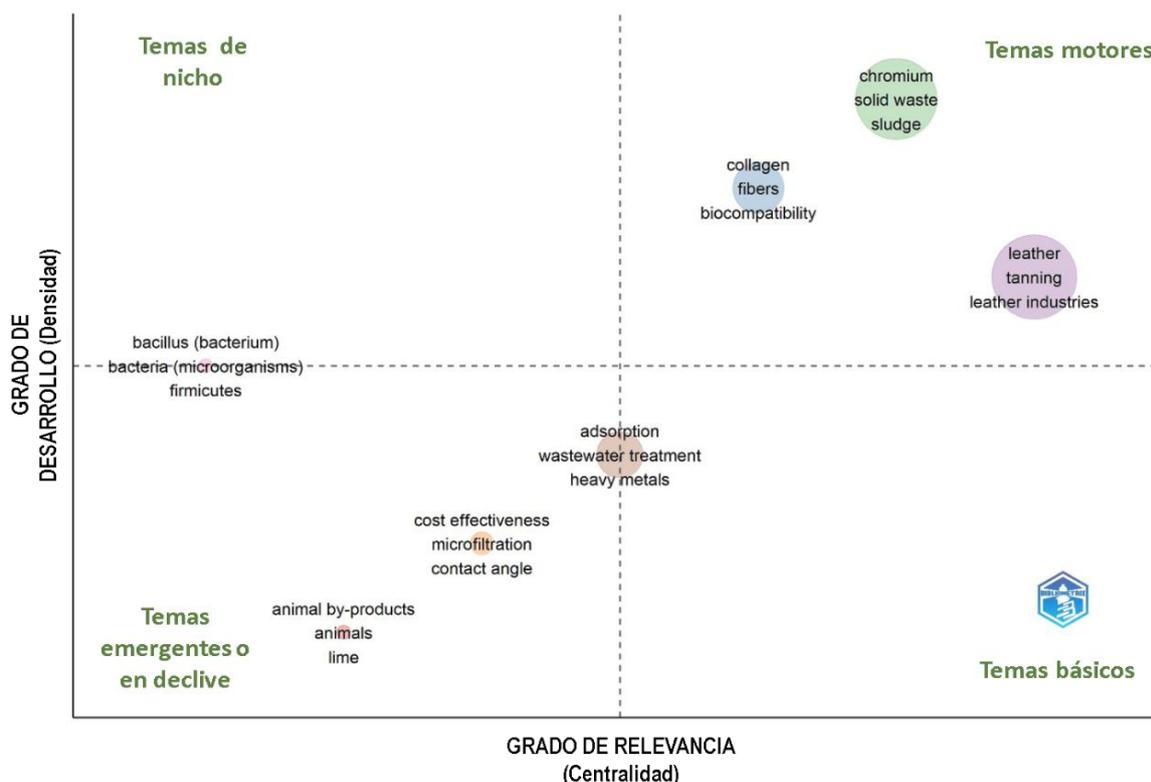


Figura 5. Mapa temático: Temas de nicho, motores, básicos y emergentes [Obtenido de Bibliometrix].

Diversos estudios han abordado su tratamiento y aprovechamiento, como el trabajo de Shavandi et al. (2017), quienes exploraron procesos de disolución, extracción y aplicaciones biomédicas de la queratina y usos de desechos proteínicos curtidos con cromo de la fabricación de cuero. En los Temas de nicho, destacan investigaciones avanzadas y especializadas con menor conexión al núcleo del campo, como materiales y características técnicas. Por último, los Temas emergentes o en declive agrupan enfoques tradicionales, como el uso de subproductos animales, que podrían estar perdiendo interés científico o necesitan ser renovados para alinearse con las tendencias actuales. Residuos de descarte poco estudiados, pero altamente efectivos, es la elaboración de engrasantes para cuero. Nasr (2017) desarrolló un engrasante sulfatado utilizan-

do desechos de descarte enclados de ovejas, diseñado específicamente para la producción de cuero a pequeña escala. Este análisis subraya la importancia de modernizar procesos e integrar sostenibilidad en proyectos de aprovechamiento de residuos.

#### Aplicaciones de residuos de curtiembre

El análisis bibliométrico permitió identificar distintas aplicaciones para los residuos de la curtiembre del cuero. La Tabla 2 resalta que los residuos sólidos no curtidos, como las carnazas y recortes de piel, son los más estudiados siendo innumerables las aplicaciones tecnológicas realizadas para su aprovechamiento. Asimismo, se evidencia un moderado avance tecnológico para la utilización de los desechos capilares, lodos y los residuos sólidos curtidos (virutas de cromo).

**Tabla 2**  
Aplicación de residuos sólidos de curtiembre

Residuos de curtiembre	Aplicación	Referencia bibliográfica
Carnazas y recortes de piel	Producción de biodiésel	(Kubendran et al., 2017) (Mae et al., 2011)
	Producción de jabón	(Abul Hashem & Shahruk Nur A-Tomal, 2017)
	Producción de carbón activado	(Venkatesan et al., 2023)
	Producción de inhibidores de contaminantes líquidos tóxicos	(Fathima et al., 2012)
	Producción de estiércol enriquecido	(Ravindran et al., 2015)
	Producción de biohidrógeno	(Aathika et al., 2018) (Ocak, 2021)
	Producción de películas biodegradables	(Muralidharan et al., 2022) (Paul et al., 2023)
	Producción de elastina	(Yoseph et al., 2020)
	Producción de lipasa	(Manikandan & Ramesh Babu, 2015)
	Producción de gelatina	(Pérez-Limiñana et al., 2016)
	Producción de glicéridos, ácidos grasos y glicerol	(Cunha et al., 2020)
	Producción de curtientes de cuero de gamuza	(Wainaina et al., 2019)
	Producción de biogás, biodiesel, bioabono y biocarbón	(Mozhiarasi et al., 2023)
	Producción de biocarbón	(Younas et al., 2022) (Skrzypczak et al., 2022)
	Producción de perlas compuestas a base de gelatina para eliminar el diclofenaco sódico	(Rigueto et al., 2021)
	Producción de oleínas	(Priebe & Gutterres, 2012)
	Producción de licor graso sulfatado	(Mekuria, 2024)
	Producción de aceites sulfatados y proteína hidrolizada	(Bragança et al., 2013)
	Producción de hidrogeles	(Chakrapani et al., 2024)
	Producción de agentes de recurtido	(Puhazhselvan et al., 2022)
	Producción de lubricantes de cueros	(Bekele, 2023) (Li et al., 2019)
	Producción de colágeno	(Luo et al., 2024) (Masilamani et al., 2016)
	Desechos de pelo	Producción de queratina
Producción de agentes de recurtido ecológico		(Ramya et al., 2022)
Producción de biocarbón		(Song et al., 2021)
Pulpa enclada	Producción de absorbentes de aceites	(Tsamo et al., 2023)
	Producción de compost	(Hashem et al., 2023)
Virutas de cromo	Recuperación selectiva de Pb y Zn	(Pietrelli et al., 2020)
Lodos	Producción de biocarbón	(Mahmood Ali et al., 2023)

Los residuos del recorte de pieles crudas y descortezado de pieles y descarnados, contienen una gran cantidad de colágeno y grasa. El uso suficiente de estos residuos ricos en proteínas, se centra en la preparación de colágeno y gelatina mediante el uso de métodos de hidrólisis ácida, alcalina y enzimática y sus aplicaciones posteriores (Li et al., 2019). Masilamani et al. (2016) utilizaron ácido propiónico y ácido acético para solubilizar el colágeno de los recortes crudos de piel. En comparación con la extracción con ácido acético de uso común, se logró un mayor rendimiento de colágeno (93 %) utilizando ácido propiónico. Para preparar colágeno o gelatina con alta pureza y bajo costo, dos o más métodos de hidrólisis utilizados en combinación podrían ser una forma alternativa.

Además, los residuos de grasa de curtiduría también se utilizan para extraer aceites y otras grasas, que se pueden aplicar como biocombustible y engrasante para cuero (Li et al., 2019). Los métodos establecidos para extraer aceites y grasas de los desechos de descarnado incluyen la extracción Soxhlet, la extracción acelerada con solventes y la extracción con fluidos supercríticos. Devaraj et al. (2018) desarrollaron un método de extracción de grasa asistido por ácido/álcali para la aplicación industrial sin utilizar disolventes orgánicos. Los desechos de descarnado contuvieron 260 g de aceite grasoso, mediante el uso del método de hidrólisis ácida, se obtuvieron 254 g de aceite grasoso con una eficiencia de extracción del 98%, usando un 4% de  $H_2SO_4$  a 120 °C durante 1,5 h. Mientras que, el proceso Soxhlet asistido por hidrólisis ácida obtuvo 260 g de aceite grasoso con una eficiencia de extracción del 100% a 80 °C durante 1,5 h utilizando menos disolvente y tiempo. El análisis fisicoquímico del aceite grasoso extraído mostró que los desechos de descarnado del cuero podrían ser una materia prima potencial para el biodiésel. Los desechos de descarnado como biocombustible se pueden utilizar para producir biodiésel y biogás mediante digestión anaeróbica. Mae et al. (2011) prepararon un emulsionante de etanol-diésel utilizando ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) a partir de desechos de descarnado.

Asimismo, Aathika et al. (2018) adoptaron descarnado enalado codigerido con lodo de curtiduría para producir biohidrógeno utilizando la actividad de hidrogenación anaeróbica en un reactor discontinuo.

Los desechos capilares de curtiduría se utilizan para la extracción de queratina mediante métodos de destrucción de enlaces químicos (disulfuro, hidrógeno y enlaces iónicos), como la extracción mecánica y la reducción. Li et al. (2019) lograron extraer la queratina utilizando el método de reducción el cual emplea agentes reductores, como el mercaptoetanol, para romper los enlaces disulfuro (-S-S-). Aunque se obtuvo queratina con alto rendimiento y gran peso molecular, pudieron

identificar alto contenido de tioles que convierte al producto en tóxico y perjudicial para la salud humana y el entorno ambiental. En ese sentido, proponen la hidrólisis enzimática como método para extraer queratina utilizando enzimas adecuadas en condiciones de reacción suaves, pero aún requiere un alto costo y un largo tiempo de reacción.

Debido a la alta concentración de sulfuro, cromo y bacterias dañinas, los lodos de curtiduría se clasifican como residuos sólidos peligrosos. Hoy en día, el desarrollo de métodos de reciclaje eficientes puede ser la mejor opción para eliminar la contaminación potencial y reutilizar. En ese sentido, Mahmood Ali et al. (2023) mencionan que la producción de biocarbón es aproximadamente del 71% para los lodos de las curtidurías utilizando el proceso de pirólisis, proceso más adecuado para los residuos con un elevado contenido de material orgánico y bajo contenido de humedad.

La Figura 6 resalta la importancia de la utilización completa de los desechos sólidos generados en las curtidurías, mostrando cómo los desechos de carnazas, recortes de piel, desechos de pelo, pulpa enalada, virutas de cromo y lodos pueden transformarse en productos de alto valor mediante procesos innovadores bajo el enfoque de la economía circular y la sostenibilidad. Por ejemplo, las carnazas se utilizan para producir biogás, jabones e hidrogeles, mientras que los desechos de pelo se emplean en la obtención de agentes de recortado ecológico, queratina y absorbentes de aceite, fomentando la sustitución de químicos sintéticos y contribuyendo a la remediación ambiental.

Asimismo, la pulpa enalada puede convertirse en compost, favoreciendo la recuperación de nutrientes y el fortalecimiento de la agricultura sostenible, y las virutas de cromo son una fuente potencial para recuperar metales como plomo y zinc, reduciendo la dependencia de la minería.

Además, los lodos, al ser transformados en biocarbón, estabilizan contaminantes y mejoran las propiedades del suelo. Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental al evitar que estos desechos terminen contaminando suelos y aguas, sino que también fomenta la economía circular al maximizar el valor de los residuos y cerrar los ciclos de materiales. A través de estas prácticas, se impulsa la innovación tecnológica en procesos limpios, se generan oportunidades económicas mediante nuevos productos comerciales y se promueve el cumplimiento normativo y la responsabilidad social, posicionando a la industria como un modelo de sostenibilidad.

En definitiva, la valorización de los residuos del cuero es clave para transformar un problema ambiental en oportunidades para un futuro más verde y responsable.



Figura 6. Alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la industria del cuero.

## CONCLUSIONES

La producción científica para la temática de estudio en el periodo 2011-2024, muestra un enfoque creciente hacia la sostenibilidad ambiental. El análisis evidencia que la gestión y valorización de residuos es el principal enfoque de investigación, representando el 36 % de los estudios. Este enfoque, junto con las investigaciones sobre materiales sostenibles, biorremediación y tratamiento de aguas residuales, reflejan una transición de la industria hacia soluciones integrales para abordar problemas ambientales. En ese contexto, India se posiciona como líder mundial tanto en volumen de publicaciones como en impacto, por su enfoque de país en resolver problemas críticos de interés global. Asimismo, Brasil se destaca por el alto promedio de los artículos citados en el campo del conocimiento. El mapeo de co-ocurrencia identificó tres clústeres para las palabras clave, el primer clúster enfocado en procesos bioquímicos y propiedades del cuero; el segundo clúster centrado en los impactos de los residuos industriales; y el tercer clúster que aborda el tratamiento de efluentes. Estos clústeres reflejan el interés científico por reducir contaminantes y mejorar los procesos productivos. El colágeno y grasa extraída de las carnazas y recortes de piel,

emergen como una estrategia clave de aprovechamiento para la obtención de biocombustibles, jabones e hidrogeles. Además, los procesos como la hidrólisis y extracción asistida resultan ser eficientes y sostenibles.

También, se pueden obtener productos como agentes de recurtido, queratina, absorbentes de aceite, compost, recuperadores de metales y biocarbón, a partir de los desechos de pelos, pulpa encalada, virutas de cromo y lodos. En conjunto, la modernización de procesos y el desarrollo de tecnologías innovadoras promueven soluciones ambientalmente responsables y económicamente viables para enfrentar los desafíos globales de sostenibilidad.

Futuros estudios deberían enfocarse en valorizar residuos de curtiduría mediante el desarrollo de biopelículas antimicrobianas y matrices para ingeniería de tejidos en medicina, así como recubrimientos comestibles y aditivos funcionales en alimentos. Además, se recomienda investigar biosorbentes optimizados para la remoción de metales pesados en suelos y efluentes, e incorporar análisis de ciclo de vida para evaluar la sostenibilidad de estas aplicaciones dentro de un enfoque de economía circular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aathika A. R. S., Kubendran, D., Yuvarani, M., Thiruselvi, D., Amudha, T., Karthik, P., & Sivanesan, S. (2018). Enhanced biohydrogen production from leather fleshing waste co-digested with tannery treatment plant sludge using anaerobic hydrogenic batch reactor. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(5), 586-593. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1435754>

Abul Hashem, Md., & Shahruk Nur-A-Tomal, Md. (2017). Valorization of Tannery Limed Fleshings Through Fat Extraction: An Approach to Utilize By-Product. *Waste and*

- Biomass Valorization*, 8(4), 1219-1224. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9705-z>
- Bekele, W. W. (2023). Utilization of Tannery Flesh Waste for Production of Sustainable Leather Coating Substance. *Textile & Leather Review*, 6, 114-131. <https://doi.org/10.31881/TLR.2023.008>
- Bonilla-Espadas, M., Zafrilla, B., Lifante-Martínez, I., Camacho, M., Orgilés-Calpena, E., Arán-Aís, F., Bertazzo, M., & Bonete, M. (2024). Selective isolation and identification of microorganisms with dual capabilities: Leather biodegradation and heavy metal resistance for industrial applications. *Microorganisms*, 12(5), 1029. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12051029>
- Bragança, I., Crispim, A., Sampaio, A., Ramalho, E., Crispim, F., Caetano, N. S., & Silva, P. C. (2013). Adding value to tannery fleshings: Part I - Oils and protein hydrolysates - Production and application. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 97(2), 62-67.
- Cunha, A. F., Caetano, N. S., Ramalho, E., & Crispim, A. (2020). Fat extraction from fleshings—Optimization of operating conditions. *Energy Reports*, 6, 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.176>
- De Souza, F. D. R., Benvenuti, J., Meyer, M., Wulf, H., Klüver, E., & Gutierrez, 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>
- Devaraj, K., Aathika, S., Mani, Y., Thanarasu, A., Periyasamy, K., Periyaraman, P., Velayutham, K., & Subramanian, S. (2018). Experimental investigation on cleaner process of enhanced fat-oil extraction from alkaline leather fleshing waste. *Journal of Cleaner Production*, 175, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.089>
- Fathima, N., Rao, R., & Nair, B. U. (2012). Tannery solid waste to treat toxic liquid wastes: A new holistic paradigm. *Environmental Engineering Science*, 29(6), 363-372. <https://doi.org/10.1089/ees.2010.0445>
- Hashem, Md. A., Hasan, M., Hasan, Md. A., Sahen, Md. S., Payel, S., Mizan, A., & Nur-A-Tomal, Md. S. (2023). Composting of limed fleshings generated in a tannery: Sustainable waste management. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 39029-39041. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25070-6>
- Hu, J., Xiao, Z., Zhou, R., Deng, W., Wang, M., & Ma, S. (2011). Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, 19(2), 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.018>
- Hussien, M., Ramadass, satesh kumar, Madhan, B., & Rao, J. (2017). Enzymatic Hydrolysis of Limed Trimmings: Preparation, Characterization and Application of Collagen Hydrolysate. *Journal American Leather Chemists Association*, 112, 44-51.
- Kubendran, D., Salma Aathika, A. R., Amudha, T., Thiruselvi, D., Yuvarani, M., & Sivanesan, S. (2017). Utilization of leather fleshing waste as a feedstock for sustainable biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-7. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1349218>
- Kuligowski, K., Cenian, A., Konkol, I., Świerczek, L., Chojnacka, K., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., & Bandrów, P. (2023). Application of leather waste fractions and their biochars as organic fertilisers for ryegrass growth: Agri-environmental aspects and plants response modelling. *Energies*, 16(9), 3883. <https://doi.org/10.3390/en16093883>
- 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), 6. <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0008-6>
- Linda, L. M. F., Ponce, S. C. G., Jara, D. A. H., & Cabezas, N. T. M. (2025). Application of activated carbon from cabuya negra (*Agave americana* L.) for diuron adsorption in aqueous solutions: A sustainable alternative for wastewater treatment. *Salud Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 4, 1475. <https://doi.org/10.56294/sctconf20251475>
- Luo, F., Liu, Z., Zhou, P., Wang, S., He, L., Wu, Y., Du, L., Jiao, M., Liao, Z., & Chen, Z. (2024). Extraction of collagen from bovine tannery solid waste preserving original conformation via radical initiation and hydrogen bond reformation. *Green Chemistry*, 26(16), 9195-9208. <https://doi.org/10.1039/D4GC02634A>
- Mahmood Ali, A., Khan, A., Shahbaz, M., Imtiaz Rashid, M., Imran, M., Shahzad, K., & Binti Mahpud, A. (2023). A renewable and sustainable framework for clean fuel towards circular economy for solid waste generation in leather tanneries. *Fuel*, 351, 128962. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128962>
- Masilamani, D., Madhan, B., Shanmugam, G., Palanivel, S., & Narayan, B. (2016). Extraction of collagen from raw trimming wastes of tannery: A waste to wealth approach. *Journal of Cleaner Production*, 113, 338-344. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.087>
- Mekuria, A. (2024). Development, characterization, and optimization of sulfated fat liquor from fleshing tannery solid waste. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2406600. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2406600>
- Mengistu, A., Angassa, K., Tessema, I., Andualem, G., Yiheyess, B., Berhane, D., Abewaa, M., Kassie, M., & Telay, B. (2024). Keratin hydrolysate as a chrome exhaust aid and keratin filler in leather processing: A cleaner technology approach for tannery solid waste management and leather manufacturing. *Heliyon*, 10(13), e34049. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34049>
- Mikula, K., Konieczka, M., Taf, R., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Moustakas, K., Kułazyński, M., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2022). Tannery waste as a renewable source of nitrogen for production of multicomponent fertilizers with biostimulating properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 8759-8777. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20621-3>
- Moktadir, Md. A., Ren, J., & Zhou, J. (2023). A systematic review on tannery sludge to energy route: Current practices, impacts, strategies, and future directions. *Science of The Total Environment*, 901, 166244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166244>
- Mozhiaras, V., Natarajan, T. S., Karthik, V., & Anburajan, P. (2023). Potential of biofuel production from leather solid wastes: Indian scenario. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 125214-125237. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28617-3>
- Muralidharan, V., Gochhayat, S., Palanivel, S., & Madhan, B. (2022). Influence of preparation techniques of cellulose II nanocrystals as reinforcement for tannery solid waste-based gelatin composite films. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14284-14303. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23058-w>
- Ocak, B. (2021). Chitosan/Collagen Hydrolysate Based Films Obtained from Hide Trimming Wastes Reinforced with Chitosan Nanoparticles. *Food Biophysics*, 16(3), 381-394. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-09678-8>
- Omoloso, O., Mortimer, K., Wise, W. R., & Jraisat, L. (2021). Sustainability research in the leather industry: A critical review of progress and opportunities for future research. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125441. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125441>
- Onem, E., Heil, V., Yesil, H., Prokein, M., & Renner, M. (2024). Hydrocarbon fuel blendstock from tannery waste: Energy from fleshing oil via gas phase catalytic cracking. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18(5), 1423-1436. <https://doi.org/10.1002/bbb.2632>
- Ongarora, B. G., Wainaina, P. N., & Tanui, P. (2019). *Extraction of Oil from Tannery Fleshings for Chamois Leather Tanning*. <https://repository.dkut.ac.ke/8080/xmlui/handle/123456789/990>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Comercio de cueros y pieles y medio ambiente*. <https://www.fao.org/unfao/bodies/ccp/hs/98/w9790s.htm>
- Paul, A. C., Uddin, Md. E., Layek, R. K., & Saha, T. (2023). Investigation on mechanical, gas barrier, and biodegradation properties of graphene oxide reinforced bovine trimmings derived collagen biocomposite. *Polymers for Advanced Technologies*, 34(10), 3317-3332. <https://doi.org/10.1002/pat.6142>
- Pérez-Limiñana, M. A., Sánchez-Navarro, M. M., Escoto-Palacios, M. J., Arán-Aís, F., & Orgilés-Barceló, C. (2016). Influence of the Extraction Temperature on the Properties of Biopolymers Obtained from Tannery Wastes. *Journal of Renewable Materials*, 4(1), 3-8. <https://doi.org/10.7569/JRM.2015.634119>
- Pietrelli, L., Ferro, S., Reverberi, A. P., & Vociante, M. (2020). Removal and recovery of heavy metals from tannery sludge subjected to plasma pyro-gasification process. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123166>
- 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>

- Ramya, K. R., Sathish, M., Madhan, B., Jaisankar, S. N., & Saravanan, P. (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>
- Ravindran, B., Contreras-Ramos, S. M., & Sekaran, G. (2015). Changes in earthworm gut associated enzymes and microbial diversity on the treatment of fermented tannery waste using epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Ecological Engineering*, *74*, 394-401. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.014>
- Rigueto, C. V. T., Rosseto, M., Nazari, M. T., Ostwald, B. E. P., Alessandretti, L., Manera, C., Piccin, J. S., & Dettmer, A. (2021). Adsorption of diclofenac sodium by composite beads prepared from tannery wastes-derived gelatin and carbon nanotubes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(1), 105030. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105030>
- Sandhya, K. V., Abinandan, S., Vedaraman, N., & Velappan, K. C. (2016). Extraction of fleshing oil from waste limed fleshings and biodiesel production. *Waste Management*, *48*, 638-643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.033>
- Saralegui, A., Piol, M. N., Willson, V., Caracciolo, N., Ramos, S., & Boeykens, S. (2023). Bio Adsorption An Eco-friendly Alternative for Industrial Effluents Treatment. En CRC Press eBooks (pp. 40-55). <https://doi.org/10.1201/9781003277941-3>
- Shanthi, C. babu, Banerjee, P., Babu, N. K., & Rajakumar, G. (2013). Recovery and characterization of protein hydrolysate from chrome shavings by microbial degradation. *Journal of the American Leather Chemists Association*, *108*, 231-239.
- Skrzypczak, D., Szopa, D., Mikula, K., Izydorczyk, G., Baśladyńska, S., Hoppe, V., Pstrowska, K., Wzorek, Z., Kominko, H., Kułczyński, M., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek - Krowiak, A. (2022). Tannery waste-derived biochar as a carrier of micronutrients essential to plants. *Chemosphere*, *294*, 133720. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133720>
- Song, J., Li, Y., Wang, Y., Zhong, L., Liu, Y., Sun, X., He, B., Li, Y., & Cao, S. (2021). Preparing Biochars from Cow Hair Waste Produced in a Tannery for Dye Wastewater Treatment. *Materials*, *14*(7), 1690. <https://doi.org/10.3390/ma14071690>
- Suparno, O., Gumbira-Sa'id, E., Kartika, I., & Amwaliya, S. (2012). Chamois Leather Tanning Accelerated by Oxidizing Agent. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, *11*, 9-16. <https://doi.org/10.5614/jtki.2012.11.1.2>
- Tsamo, C., Zangue, A. H., Herbaud, E. E., & Nchang, S. T. D. (2023). Investigating the potential of using tannery process solid hair waste for spent engine and vegetable oils removal from water and toxicity assessment using maize. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *8*, 100412. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100412>
- Venkatesan, N., Krishna, A., & Fathima, N. N. (2023). Leather solid waste derived activated carbon as a potential material for various applications: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *176*, 106249. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106249>
- Verma, S. K., & Sharma, P. C. (2023). Current trends in solid tannery waste management. *Critical Reviews in Biotechnology*, *43*(5), 805-822. <https://doi.org/10.1080/07388551.2022.2068996>
- Vučurović, D., Bajić, B., Trivunović, Z., Dodić, J., Zeljko, M., Jevtić-Mučibabić, R., & Dodić, S. (2024). Biotechnological utilization of agro-industrial residues and by-products-sustainable production of biosurfactants. *Foods*, *13*(5), 711. <https://doi.org/10.3390/foods13050711>
- Wainaina, P. N., Tanui, P., & Ongarora, B. (2019). Extraction of oil from tannery fleshings for chamois leather tanning. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, *103*(3), 159-162.
- Wrześcińska-Jędrusiak, E., Czarnecki, M., Kazimierski, P., Bandrów, P., & Szufa, S. (2023). The circular economy in the management of waste from leather processing. *Energies*, *16*(1), 564. <https://doi.org/10.3390/en16010564>
- 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*, 118471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118471>
- Younas, H., Nazir, A., & Bareen, F. (2022). Application of microbe-impregnated tannery solid waste biochar in soil enhances growth performance of sunflower. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(38), 57669-57687. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19913-5>