

RESUMEN DE PROCESOS DE RECICLAJE Y REUSO DE LOS DESECHOS DEL RASPADO DE WET-BLUE.

SUMMARY OF RECYCLING PROCESSES AND REUSE OF WET-BLUE SCRAPING WASTE.

Nelly Flores-Tapia¹; José Luis Mullo², Mirari Arancibia-Soria³, Giovanny Freire⁴,

¹Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato - Ecuador, ne.flores@uta.edu.ec

²Department of Mechanical and Metallurgical Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, jlmullo@uc.cl

³Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato - Ecuador, giovannyfreire@uta.edu.ec

⁴Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato - Ecuador, marancibias@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v17.2023.2042>

Resumen

Las curtiembres son industrias muy contaminantes que liberan compuestos peligrosos, como el cromo, en sus efluentes sólidos y líquidos y gases derivados de la descomposición orgánica en sus efluentes gaseosos, los cuales se liberan al medio ambiente. Según lo que se ha encontrado en bibliografía se puede notar que todos los vertidos sólidos van a parar a los vertederos; mientras, que los efluentes líquidos son tratados, hasta cumplir normas ambientales locales y luego son eliminados en los ríos más cercanos. Es indispensable que se desarrollen tecnologías ecosostenibles e innovadoras para el manejo y eliminación de estos desechos. Pero como el wet-blue es tan estable químicamente, el desarrollo de nuevas tecnologías de reciclaje y/o reúso estos residuos de curtiembres se está convirtiendo en un gran desafío para los investigadores. En la actualidad, los encargados de estudiar estos residuos han empezado a utilizar estos desechos para producir nuevos materiales que simulen las cualidades del cuero o tecnologías que permitan extraer colágeno del wet-blue de la forma más económica. Existen varios trabajos sobre la gestión de residuos de cuero y los que se han utilizado para elaborar este resumen, informan de manera concisa los procesos que se utilizan para reutilizar y/o reciclar el wet-blue. Esta revisión informa por primera vez el estado del arte de las estrategias relacionadas con la recuperación y valorización de estos residuos de cuero y la obtención de colágeno hidrolizado a partir de ellos. En la sección de conclusiones, los autores brindan implicaciones prácticas para la industria con relación al reciclaje del wet-blue.

Palabras clave: / *wet-blue, curtiembre, reciclaje*

Abstract

Tanneries are highly polluting industries that release dangerous compounds, such as chromium, in their solid, liquid, and other contaminant in its gaseous effluents. According to the bibliography, all solid discharges end up in landfills; meanwhile, the liquid effluents are treated and then disposed of in the closest rivers. It is essential to develop eco-sustainable and innovative technologies to manage and dispose of this waste. However, as wet-blue is chemically stable, the development of new technologies for recycling or reusing tannery waste is becoming a great challenge for researchers. Those responsible for studying these residues have begun to use this waste to produce new materials that simulate leather qualities or technologies that allow collagen to be extracted from wet-blue most economically. Several works on leather waste management reviewed for this summary report concisely the processes used to reuse or recycle wet-blue. Then this review reports, for the first time, the state of the art of strategies related to the recovery and valorization of these leather and hydrolyzed collagen residues. In the conclusion section, the authors provide practical implications for the industry regarding wet-blue recycling.

Keywords: / *wet-blue, tannery, recycling.*

Objetivo y estructura de la revisión

Este trabajo, trata de resumir los procesos que actualmente se utilizan para reciclar y reutilizar los desechos del rebajado de wet-blue, ya sea que se encuentren en fase experimental o que tengan aplicación industrial.

La industria del cuero está ampliamente extendida a nivel mundial y es una gran fuente recursos para los países en donde se encuentra. En Ecuador, para el año 2019, existían 8 empresas dedicadas al curtido de cueros y 15 dedicadas a la fabricación de artículos de cuero. Estas empresas en su mayoría proveían empleo a más de 600 personas. El 75 % de empresas dedicada al curtido se ubica en la provincia de Tungurahua; mientras que, el resto se encontraban en la provincia de Pichincha (Corporación Financiera Nacional, 2021), (Masabanda et al., 2017). Así mismo, esta industria genera grandes cantidades de desperdicios; se calcula que de 1 tonelada de piel cruda se generan alrededor de 200 kg de productos terminados, 250 kg de desechos sólidos sin curtir y 200 kg de desechos sólidos curtidos (Y. Liu et al., 2014), es decir que por cada pieza teñida se generan de 2 a 3 kg de residuos que contienen cromo (Rigueto et al., 2020), (Kumari et al., 2016), (Amertaning et al., 2019).

Durante el proceso de fabricación de cuero, la capa interna del cuero curtido se pule para obtener una sensación tersa. Este proceso genera un raspado de colágeno denominado raspado de wet-blue, mismo que de ahora en adelante solo se le denominará wet-blue. El wet-blue es un desecho sólido proteico que contiene 2,7% de cromo en peso seco. El cromo está muy enlazado en la estructura del colágeno, por lo que el wet-blue no es peligroso por sí mismos, pero a las condiciones del relleno sanitario y el paso del tiempo, el wet-blue se descompone liberando cromo

VI que es un contaminante de naturaleza cancerígena y causa varios problemas a la salud (Sundar et al., 2011) .

Por su naturaleza difícil de reciclar el wet-blue comúnmente se desechaba en los rellenos sanitarios, pero en los últimos años se están incrementando las investigaciones que tratan de aprovechar al wet-blue como fuente para elaborar nuevos productos (Sedliacik et al., 2011), mientras que otras investigaciones se dirigen hacia la eliminación ecológica de este residuo (Sedliacik et al., 2011).

En la primera sección de esta revisión se describirá la investigación bibliográfica que permitió la elaboración del presente resumen, seguido de una breve explicación del proceso de curtido de pieles y los desechos que se generan a cada paso. Finalmente se resumirá los procesos para reutilizar y reciclar el wet-blue.

Metodología

La búsqueda de la literatura científica se realizó utilizando Scopus, Google Scholar y la base de datos Web of Science. Para la elaboración de esta revisión se utilizaron las palabras: “recycling”, “wet-blue” y “tanneries”, lo que resultó en un total de 30 documentos indexados desde el 2018, vea la Figura 1. La última búsqueda se realizó el 25 de mayo de 2022. La Figura 1, también indica el aumento del interés en los procesos de reciclaje de los residuos producidos en las curtiembres. En la Figura 1, se puede observar que se han duplicado el número de publicaciones respecto al tema en los últimos 20 años. La figura 2, muestra los artículos más relevantes sobre el tema que se han obtenido de PaperConnect, web que ordena las publicaciones según los autores más citados. Cada autor se representa en forma de burbuja y mientras más oscura sea la burbuja el trabajo tiene mayor número de citas. La mayor cantidad de citas se relaciona al trabajo de (Korpe & Rao, 2021) que es el autor más citado dentro de la búsqueda realizada.

Figura 1 / Resultado de publicaciones sobre reciclaje de desechos de curtiembres desde el 2000 hasta el 2022.

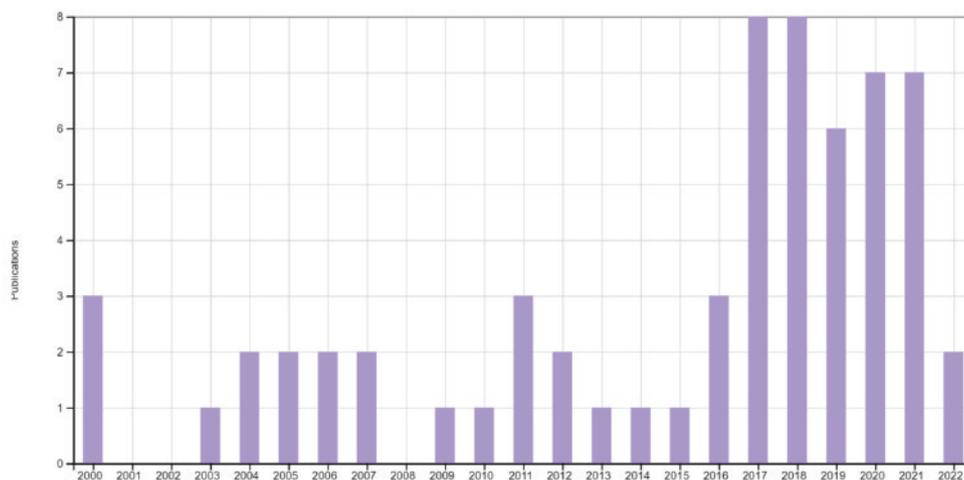


Figura 2 / Resultados de búsqueda bibliográfica en PaperConnect desde 2009 hasta 2022.

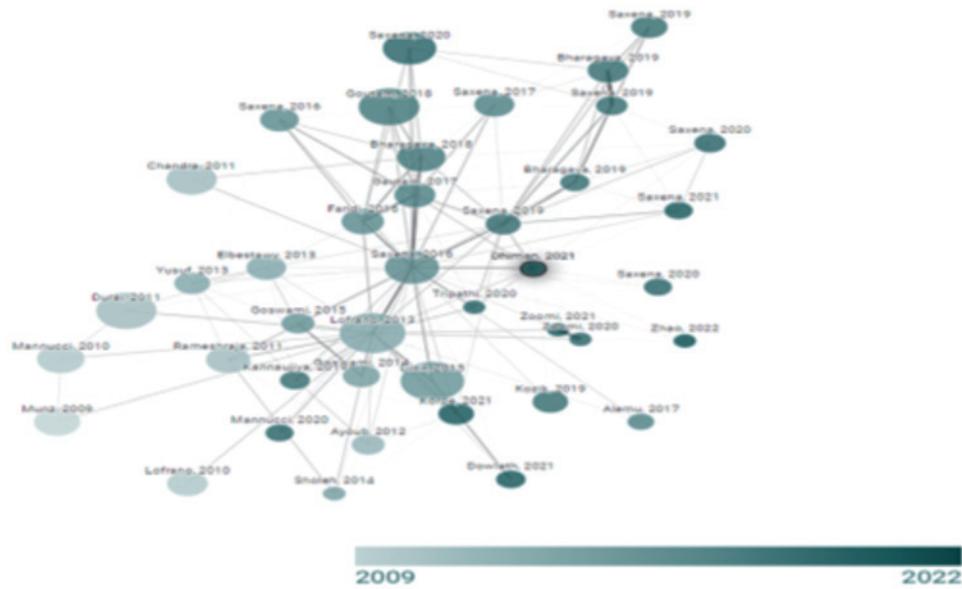
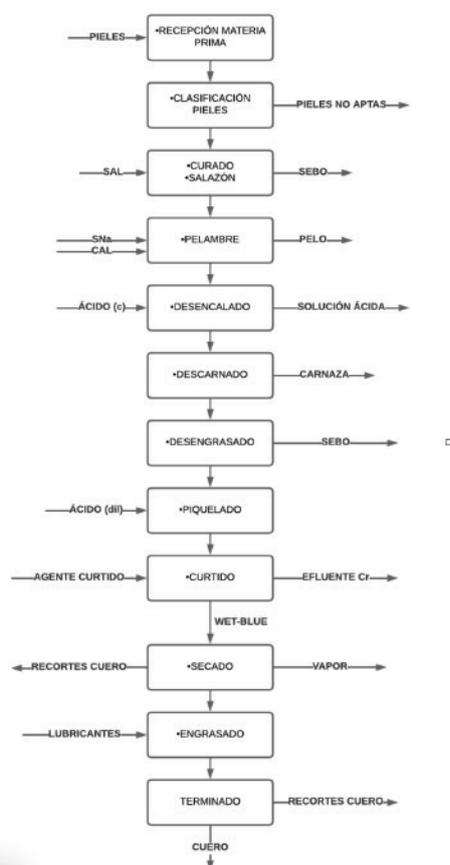


Figura 3 / Etapas del curtido de cuero. (Parisi et al., 2021)



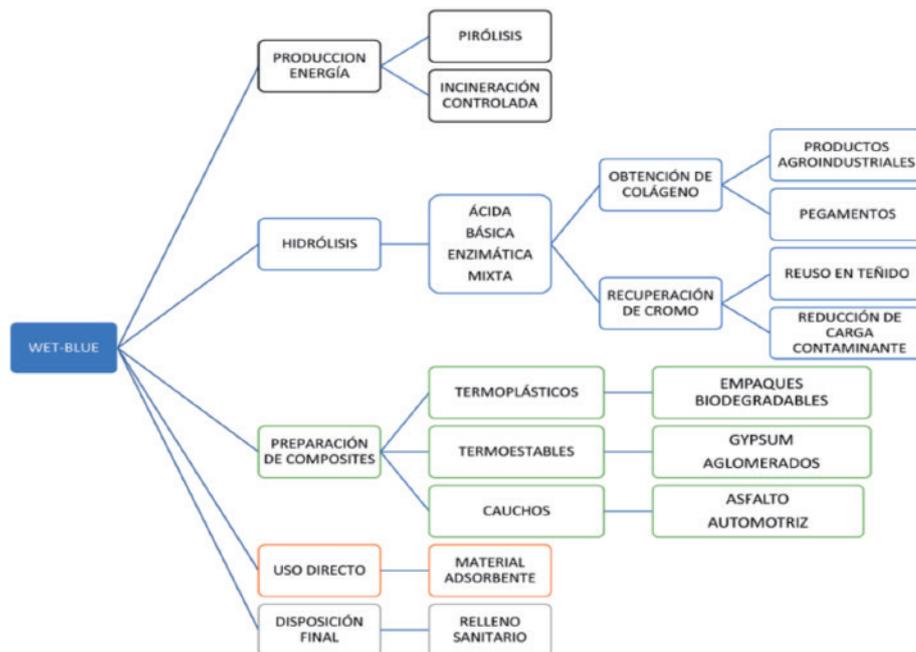
1. Residuos que se generan en las curtiembres

La industria de la curtiembre transforma las pieles de animales en un material útil y que es perdurable con el tiempo (Saravanabhavan et al., 2006). El cuero procesado tiene un sinfín de aplicaciones en todas las actividades humanas gracias a sus propiedades físicas y químicas. El proceso de curtiembre se puede simplificar en varias etapas como se muestra en la Figura 3. Todas las etapas generan residuos, los cuales, dependiendo de la cantidad y composición química se convertirán en un problema de mayor o menor impacto para el ecosistema (Sivaram & Barik, 2019), (Hinojosa & Saldaña, 2020).

2. Procesos para reciclar o reutilizar el wet-blue

Los procesos para darle un nuevo uso al wet-blue se pueden resumir en la Figura 4. A continuación, se procederá a resumir brevemente varios de estos procesos.

Figura 4 / Procesos para reciclar y/o reutilizar wet-blue (Parisi et al., 2021), (Sundar et al., 2011).



2.1. Producción de energía

La mayor parte de procesos utilizados para tratar el wet-blue consisten en utilizar el wet-blue directamente o convertirlo químicamente para obtener compuestos de interés (Suhendra et al., 2020). El pirólisis es una tecnología naciente que permite transformar un residuo combustible en un gas residual, un sólido generalmente inerte y un combustible líquido. El proceso consiste en la combustión del residuo en atmósferas inertes, en contados procesos la pirólisis también permite obtener energía (Czajczyńska et al., 2017).

Como resultado de ensayos de laboratorio, aplicando esta tecnología en diferentes materiales, se ha obtenido combustibles a partir de polietileno (Bagri & Williams, 2002) y se ha reducido la cantidad y peligrosidad de los residuos de una fábrica de zapatos (Van Rensburg et al., 2021).

Para optimizar la pirólisis del wet-blue, J. Liu et al., 2020, utilizaron métodos iso-conversionales y master-plots generalizados para estimar tanto la energía de activación aparente y el mecanismo de pirólisis. Luego se aplicó un algoritmo para optimizar el modelo de tres reacciones paralelas de cinética combinada, para simular y predecir los comportamientos de la pirólisis del wet-blue.

2.2 Hidrólisis

Uno de los procesos que se están empleando para aprovechar el wet-blue a nivel industrial es la obtención de gelatina a partir de la hidrólisis de recortes de wet-blue. La hidrólisis puede ser ácida, básica, enzimática y básica-enzimática. En la hidrólisis básica se pueden utilizar hidróxido de sodio, óxido de calcio y óxido de magnesio (Depósito & Por, 2016).

Si se utiliza óxido de magnesio en la hidrólisis (Catalina et al., 2008), en el primer paso, las virutas de cromo se hidrolizan con MgO para producir gelatina y un residuo de lodo rico en cromo (Hinojosa & Saldaña, 2020). El MgO sale junto con el filtrado rico en gelatina, industrialmente la gelatina se desioniza para mejorar sus propiedades físicas, mientras que el MgO se transfiere a la resina de intercambio iónico. En el segundo paso, el lodo de cromo se trata con más MgO y una enzima para producir un filtrado concentrado en colágeno. El costo de producir gelatina sin purificar sería de alrededor de \$0.52 por kg. Las gelatinas de baja calidad, con 100 g Bloom, están disponibles comercialmente por alrededor de \$ 3,20 por kg, lo cual implica que el proceso de recuperación de gelatina del wet-blue es económicamente atractiva (Cabeza et al., 1998).

Cuando se comparan las hidrólisis alcalinas y alcalinas-enzimáticas que utilizan diferentes basificantes, resulta que el CaO tiene ventajas sobre el MgO, el NaOH e incluso sobre las enzimas (Attenburrow et al., 2006). El MgO sirve como pretratamiento cuando se piensan en procesos donde se utilizarán enzimas. Sin embargo, en todos estos procesos, siempre queda proteína residual en la torta de cromo, esta proteína es difícil de hidrolizar en condiciones alcalinas debido a la interacción hidrofóbica (Shoulders & Raines, 2009), los puentes covalentes o la reticulación inducida por la formación de complejos entre el cromo y los grupos carboxilo (Mu et al., 2003). Una vez se hidroliza el wet-blue queda como residuo un cake rico en cromo, este cromo se puede recuperar y ser reutilizado en el proceso de curtido (Sivakumar & Mohan, 2020), (Ozgunay et al., 2007).

Otros productos que se está obteniendo a partir del wet-blue son los fertilizantes, por ejemplo, se eliminó la mayor cantidad de cromo de una muestra de wet-blue, luego se obtuvo colágeno y finalmente se lo enriqueció con fósforo y potasio. El compuesto enriquecido proveniente del wet-blue fue utilizado en polvo como abono para nutrir cultivos de arroz. El nivel de cromo en el suelo fue medido a través del método USEPA 3051, y los resultados de contenido de cromo en el suelo luego de la cosecha del arroz, fueron estadísticamente similares a los obtenidos luego de abonar el suelo con urea o con un abono NPK comercial (Guilherme Esteves Nogueira et al., 2010).

2.3 Preparación de composites

El wet-blue puede ser utilizado para la creación de nuevos compuestos y dependiendo del material con el que se mezcle se pueden generar diversos materiales con propiedades que permiten aplicaciones específicas. Como por ejemplo, en el sector de la construcción, se han elaborado paneles acústicos a base de virutas de cuero y yeso, material conocido como gypsum (Morsy & Nasr, 2018) y otro tipo de aglomerados (Valdez-Urbina et al., 2019).

También se han realizado estudios experimentales para elaborar aglomerados de aserrín comprimido con pegamento obtenido del wet-blue. Los análisis de la mezcla 50 % adhesivo/aserrín, presentaron una conductividad térmica inferior a la norma ASTM C-177, (0.22 W/m.K) pero una mayor resistencia a la compresión, que la mínima obligatoria de la norma DIN 68763, con un promedio de 291.57 Kgf/m², estos aglomerados presentaron coeficientes de absorción acústica cercanos a los de los paneles de corcho o las moquetas comerciales (Lawinska, 2021). Otras aplicaciones incluyen estructuras compuestas hechas de fibras de cuero y caucho nitrilo-butadieno como material sellante (Guo et al., 2021), biopolímeros en base al colágeno obtenido del wet-blue (Ribeiro Sanches et al., 2021), polímeros compuestos (Y. Liu et al., 2016) y adhesivos a base de colágeno (Flores et al., 2013) cuyas fábricas por lo general se ubican al lado de las curtiembres (Kelman & DeVore, 1993), (Sánchez, B., et al., 2019).

2.4 Uso directo

Se están desarrollando adsorbentes derivados del wet-blue a nivel experimental. En la investigación realizada por Oliveira et al., 2007, se utilizaron tres tipos de cuero: (i) un cuero natural sin curtir; (ii) un desecho de cuero que contiene cromo, y (iii) un residuo de cuero al que se le extrajo el cromo. Se determinó que las capacidades de adsorción de un colorante rojo eran de 56, 100 y 163 mgg⁻¹ para cada tipo de desecho, demostrando que los residuos de cuero presentan capacidades de adsorción mucho mayores que el carbón activado comercial.

También se ha utilizado wet-blue como adsorbente para la eliminación de Cr (VI) y Ar (V), alcanzando la remoción de 133 mgg⁻¹ y 26 mgg⁻¹ de cada elemento respectivamente, en un proceso eficiente y de bajo costo (Oliveira et al., 2008).

2.5 Disposición final de los residuos

La eliminación de los residuos sólidos a nivel mundial tiene costos y estos dependen de las políticas de cada país (Stebbins, 2010), en términos generales disponer los residuos en rellenos públicos cuesta más en los países desarrollados que en los no desarrollados (Gotschall, 1996). En Ecuador el costo de eliminación de residuos depende del tipo de contaminante, la concentración, tipo de efluente y la cantidad eliminada (Ministerio del Ambiente, 2012). En varios países del mundo y en Ecuador existen desechos que tienen que ser eliminado por gestores, lo que incluso puede llegar a triplicar el costo de generación de desechos industriales (GAD Municipal de Ambato, 2014).

Conclusión:

Debido a los costos involucrados en la eliminación de los desechos industriales se ha hecho necesario desarrollar nuevas tecnologías que minimicen los residuos de las curtiembres. El wet-blue es uno de los residuos que más preocupan por su contenido de cromo. El proceso de reciclaje y reutilización de wet-blue presenta un desafío importante para los investigadores y los dueños de las curtiembres, porque para proponer técnicas de reciclaje o de reutilización se necesita un amplio conocimiento del proceso de curtiembre y de química avanzada. Entonces, se recomienda que los encargados de reciclar o reutilizar el wet-blue dominen el proceso de curtido y las nuevas tecnologías para transformar a los residuos derivados de wet-blue. Aunque se han desarrollado hasta la fecha varios procesos experimentales que son interesantes y que ayudan en el aprovechamiento de este residuo, aún falta investigación para lograr mayor disminución de los desechos de wet-blue y mayor esfuerzo para aumentar la eficiencia de los procesos de reciclaje para aumentar la razón costo-beneficio. El proceso que se puede empezar a implementar industrialmente es la obtención de colágeno hidrolizado, que contiene baja concentración de cromo, para la elaboración de pegamentos industriales biodegradables ya que existen estudios en planta piloto que son fácilmente escalables a nivel industrial.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador y al "Proyecto Reciclaje de residuos wet-blue para producir un adhesivo para zapatos", aprobado con Resolución UTA-CONIN-2022-0171-R.

Referencias

- Amertaning, D., Bachrudin, Z., . J., Chin, K. B., & Erwanto, Y. (2019). Characteristics of Gelatin Extracted from Indonesian Local Cattle Hides Using Acid and Base Curing. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(5), 443–454. <https://doi.org/10.3923/pjn.2019.443.454>
- Attenburrow, C., Attenburrow, G., Cot, J., Covington, A. D., & Antunes, A. P. M. (2006). Isolation and characterization of gelatin obtained from chrome-tanned shavings. *Materials Science*, 204(1), 8–9. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:4940172>
- Bagri, R., & Williams, P. T. (2002). Catalytic pyrolysis of polyethylene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63(1), 29–41. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(01\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(01)00139-5)
- Cabeza, L. F., Taylor, M. M., Dimaio, G. L., Brown, E. M., Marmer, W. N., Carrió, R., Celma, P. J., & Cot, J. (1998). Processing of leather waste: Pilot scale studies on chrome shavings. Isolation of potentially valuable protein products and chromium. *Waste Management*, 18(3), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(98\)00032-4](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(98)00032-4)
- Catalina, M., Attenburrow, G., Cot, J., Covington, A. D., & Antunes, A. P. . (2008). Isolation and characterization of gelatin obtained from chrome-tanned shavings. 32(32), 145–176. [https://www.aaqtic.org.ar/congresos/istanbul2006/Visual Displays/V 20 - Isolation and characterization of gelatin obtained from chrome-tanned shavings.pdf](https://www.aaqtic.org.ar/congresos/istanbul2006/Visual%20Displays/V%20-Isolation%20and%20characterization%20of%20gelatin%20obtained%20from%20chrome-tanned%20shavings.pdf) Corporación Financiera

Nacional. (2021). Ficha Sectorial Cuero. 1(1), 24.

<https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Alimentos-preparados-para-animales.pdf>

- Czajczyńska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Reynolds, A. J., Spencer, N., & Jouhara, H. (2017). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 3, 171–197. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2017.06.003>
- Depósito, C., & Por, C. (2016). Cuero depósito cromado por hidrólisis.
- Flores, H., Retamar, J., Orué, S., Lacoste, A., & Prez, L. (2013). Virutas de cuero obtención de un adhesivo como sustituto de materiales ureicos. VII Congreso Argentino de Ingeniería Química, 11. http://www.aaq.org.ar/SCongresos/docs/04_025/papers/07e/07e_1431_681.pdf
- GAD Municipal de Ambato. (2014). Ordenanza que establece el cobro de la tasa por recolección diferenciada y disposición final de los desechos hospitalarios; y, disposición final de desechos industriales y escombros generados en el cantón Ambato. <https://gadmatic.ambato.gob.ec/infoambato/ordenanzas.php>
- Gotschall, M. G. (1996). Making big money from garbage: How companies are forming international alliances to recycle trash for profit. *The Columbia Journal of World Business*, 31(3), 100–107. [https://doi.org/10.1016/S0022-5428\(96\)90044-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5428(96)90044-7)
- Guilherme Esteves Nogueira, F., Alves de Castro, I., Amaral de Souza, G., Nogueira, F. G., Castro, I. A., Bastos, A. R., Souza, G. A., de Carvalho, J. G., & Oliveira, L. C. (2010). Recycling of solid waste rich in organic nitrogen from leather industry: Mineral nutrition of rice plants. *Journal of Hazardous Materials*, 186, 1064–1069. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.111>
- Guo, J., Dai, R., Chen, H., Liang, Y., & Shan, Z. (2021). Correction to: Research on the composite and functional characteristics of leather fiber mixed with nitrile rubber. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00061-4>
- Hinojosa, J. B., & Saldaña, L. M. (2020). Optimization Of Alkaline Hydrolysis Of Chrome Shavings To Recover Collagen Hydrolysate And Chromium Hydroxide. 20, 15–28.
- Kelman, C., & DeVore, D. (1993). Collage-based adhesives and sealants and methods of preparation and use thereof. <https://patentimages.storage.googleapis.com/a0/bd/eb/73f72efadf47df/US5219895.pdf>
- Korpe, S., & Rao, P. V. (2021). Application of advanced oxidation processes and cavitation techniques for treatment of tannery wastewater—A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105234. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105234>
- Kumari, P., Sen, S., & Suneetha, V. (2016). Production of glue from tannery effluent by physical, chemical and biological methods. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 9(8), 1–13. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2016.00195.5>
- Lawinska, K. (2021). Production of Agglomerates , Composite Materials , and Seed materials form Tannery Waste as new Methods for its management. *Materials*, 14, 6695. <https://doi.org/10.3390/ma14216695>
- Liu, J., Luo, L., Zhang, Z., Hu, Y., Wang, F., Li, X., & Tang, K. (2020). A combined kinetic study on the pyrolysis of chrome shavings by thermogravimetry. *Carbon Resources Conversion*, 3(November), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2020.11.003>
- Liu, Y., Wang, Q., & Li, L. (2014). Reuse of leather shavings as reinforcing filler for poly (vinyl alcohol). <https://doi.org/10.1177/0892705713518794>

- Liu, Y., Wang, Q., & Li, L. (2016). Reuse of leather shavings as a reinforcing filler for poly (vinyl alcohol). *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 29(3), 327–343. <https://doi.org/10.1177/0892705713518794>
- Masabanda, M., Echegaray, C., Delgado, V., & Echegaray, D. (2017). Análisis y localización de curtiembreses el cantón Ambato, como parte de patrimonio cultural en el Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 2(4), 41–56. <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/01/Art5.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2012). Registro Oficial N 856.
- Morsy, M., & Nasr, A. (2018). Engineering Properties of Gypsum Composite Containing Chrome Tanned Leather Shaving Waste. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 35(4), 1441–1456. <https://doi.org/10.21608/mjae.2018.95342>
- Mu, C., Lin, W., Zhang, M., & Zhu, Q. (2003). Towards zero discharge of chromium-containing leather waste through improved alkali hydrolysis. *Waste Management*, 23(9), 835–843. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00040-0)
- Oliveira, D. Q. L., Gonçalves, M., Oliveira, L. C. A., & Guilherme, L. R. G. (2008). Removal of As(V) and Cr(VI) from aqueous solutions using solid waste from leather industry. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 280–284. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.001>
- Oliveira, L. C. A., Gonçalves, M., Oliveira, D. Q. L., Guerreiro, M. C., Guilherme, L. R. G., & Dallago, R. M. (2007). Solid waste from leather industry as adsorbent of organic dyes in aqueous-medium. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 344–347. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.111>
- Ozgunay, H., Colak, S., Mutlu, M. M., & Akyuz, F. (2007). Characterization of leather industry wastes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6), 867–873. <http://www.pjoes.com/Characterization-of-Leather-Industry-Wastes,88060,0,2.html>
- Parisi, M., Nanni, A., & Colonna, M. (2021). Recycling of chrome-tanned leather and its utilization as polymeric materials and in polymer-based composites: A review. *Polymers*, 13(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/polym13030429>
- Ribeiro Sanches, M. A., Camelo-Silva, C., Tussolini, L., Tussolini, M., Zambiasi, R. C., & Becker Pertuzatti, P. (2021). Development, characterization and optimization of biopolymers films based on starch and flour from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. *Food Chemistry*, 343(May), 128430. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128430>
- 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>
- Sánchez-Silva, B., Díaz-Díaz, A., Tarrío-Saavedra, J., López-Beceiro, J., Gracia-Fernández, C. A., & Artiaga, R. (2019). Thermal and rheological comparison of adhesives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138(5), 3357–3366. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08882-6>
- Saravanabhavan, S., Thanikaivelan, P., Rao, J. R., Nair, B. U., & Ramasami, T. (2006). Reversing the conventional leather processing sequence for cleaner leather production. *Environmental Science and Technology*, 40(3), 1069–1075. <https://doi.org/10.1021/es051385u>
- Sedliacik, J., Matyasovsky, J., Smidriakova, M., Sedliacikova, M., & Jurkovic, P. (2011). Application of Collagen Colloid from Chrome shavings for innovative polycondensation adhesives. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 106.

- Shoulders, M. D., & Raines, R. T. (2009). Collagen Structure and Stability. *The Annual Review of Biochemistry*, 78, 929–958. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.77.032207.120833>
- Sivakumar, V., & Mohan, R. (2020). Sustainable solid waste management in leather and textile industry: Leather & textile waste fibre-polymer composite and nanocomposite - overview and review. *Textile and Leather Review*, 3(2), 54–63. <https://doi.org/10.31881/TLR.2020.04>
- Sivaram, N. M., & Barik, D. (2019). Toxic Waste From Leather Industries. In *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00005-5>
- Stebbins, K. R. (2010). Garbage imperialism: Health implications of dumping hazardous wastes in third world countries. <https://doi.org/10.1080/01459740.1992.9966083>, 15(1), 81–102.
- 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>
- Sundar, V. J., Raghavarao, J., Muralidharan, C., & Mandal, A. B. (2011). Recovery and utilization of chromium-tanned proteinous wastes of leather making: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(22), 2048–2075. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.497434>
- Valdez-Urbina, M., González-Gutiérrez, L., Pariguana-Begazo, M., Lopez Guerra, R., & Dueñas-Gonza, A. (2019). Obtención de un aglomerado para material de construcción a partir de un adhesivo obtenido de viruta de wet blue del proceso del curtido de pieles. *Veritas*, 20(1), 103. <https://doi.org/10.35286/veritas.v20i1.233>
- Van Rensburg, M. L., Nkomo, S. L., & Mkhize, N. M. (2021). Characterization and pyrolysis of post-consumer leather shoe waste for the recovery of valuable chemicals. *Detritus*, 14, 92–107. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2021.14064>