

Evaluation of the fleshing wastes originated in the tanneries in Sampués, Sucre department-Colombia

Evaluación de los residuos de descarnado originados en las curtiembres de Sampués, departamento de Sucre-Colombia

Yelitza Aguas-Mendoza¹, Rafael Enrique Olivero-Verbel², Iván Darío Mercado-Martínez³,
Katia Isabel Cury-Regino⁴, Ana Beatriz Martínez-Medrano⁵

¹ Ingeniera Química, Doctora en Ingeniería, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4880-4510>

² Ingeniero de Alimentos, Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2807-1217>

³ Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1978-6977>

⁴ Ingeniera Agroindustrial, Magíster en Ciencias Agroalimentarias, Gobernación de Sucre. Sincelejo, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5530-9839>

⁵ Ingeniera Agroindustrial, Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5969-4081> Email: ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

Cite this article as: Y. Aguas Mendoza, R. E. Olivero Verbel, I. D. Mercado Martínez, K. I. Cury Regino, A. B. Martínez Medrano "Evaluación de los residuos de descarnado originados en las curtiembres de Sampués, departamento de Sucre-Colombia", *Prospectiva*, Vol 20, N° 2, 2022.

Recibido: 18/02/2022 / Aceptado: 14/06/2022

<http://doi.org/10.15665/rp.v20i2.2901>

RESUMEN

Esta investigación evaluó el proceso de descalcado de los residuos cuando la carne es retirada del animal del proceso de curtición semiartesanal producido en Sampués, departamento de Sucre-Colombia, mediante un sistema de agitación que simuló las revoluciones del fulón en el proceso agroindustrial, a dos temperaturas diferentes, 28 y 30°C; se utilizó como agente descalcante ácido sulfúrico en dos concentraciones distintas 1,0 y 1,5 M las cuales dependieron de un rango de pH entre 6,5-7,5 para retirar la cal impregnada en los residuos de descarnado. Este análisis también simuló dos tiempos de operación del bombo, 2 y 4 horas. Se realizaron ocho tratamientos con tres repeticiones. Este estudio concluyó que se puede retirar la cal y mantener el porcentaje de grasa, en los residuos de descarnado, utilizando una temperatura en el bombo de 30°C y una concentración de ácido sulfúrico de 1,5 M como agente descalcante, durante 4 horas.

Palabra claves: Bombo; Cal; Residuos de descarnado; Curtiembre; Descalcado.

ABSTRACT

This research evaluated the deliming process of the residues when flesh is stripped from animal of the semi-manual tanning process produced in Sampués, Sucre department-Colombia, through a system of agitation that simulated the revolutions of the bass-drum in the agro-industrial process, to two different temperatures, 28 and 30°C; sulfuric acid was utilized as an agent decalcifier in two different concentrations 1.0 and 1.5 M which depended on a range of pH 6.5-7.5 to remove the lime impregnated in the residues of sude. This analysis also simulated two times of operation of the bass-drum, 2 and 4 hours. Eight treatments with three replications were performed. This study concluded that it is possible to withdraw the lime and keep the percentage of fat, in the fleshing wastes, utilizing a temperature in the bass-drum of 30°C and using a concentration of sulfuric acid 1.5 M as an agent decalcifier, during 4 hours.

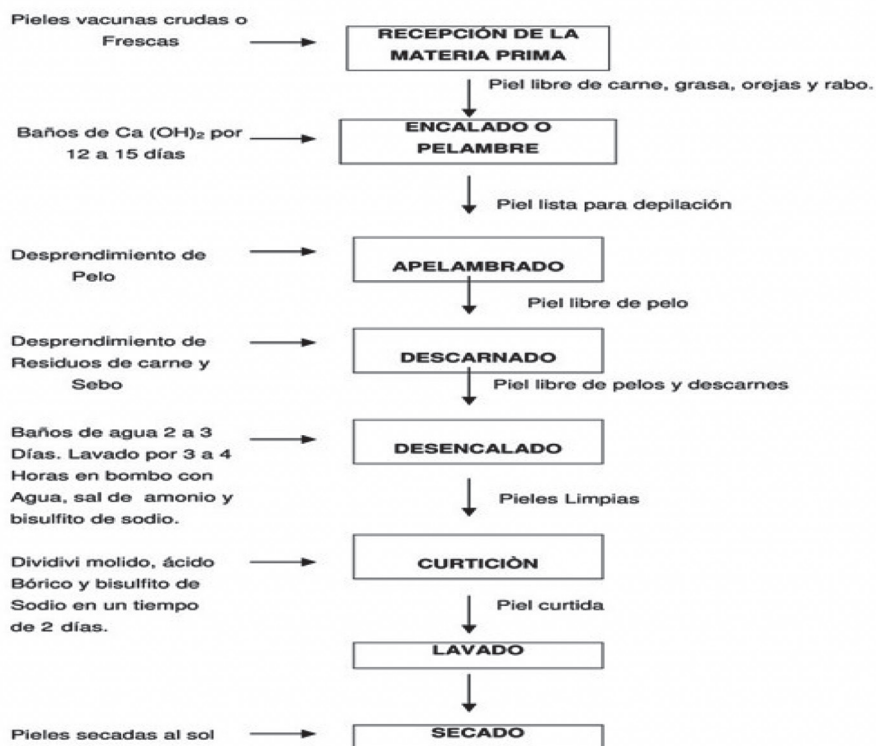
Keywords: Bass-drum; Deliming process; Fleshing waste; Lime; Tannery.

1. INTRODUCCIÓN

Muchos de los residuos de descarnado que se generan en el proceso de las curtiembres en Colombia, se utilizan como abono, con la finalidad de fertilizar los pastizales. Sin embargo, estos se demoran un año en asimilarse [1]. Aunque en países como Brasil se han realizado investigaciones respecto al tema con resultados satisfactorios [2]. En Colombia, los residuos de descarnado también se depositan en botaderos a cielo abierto ilegales [3]. Estos desechos provenientes del proceso de curtición generados en Sampués, departamento de Sucre-Colombia, se llevan a un relleno sanitario. Esta misma situación se presenta en la India y Bangladesh considerándola la práctica más común [4]. Sin embargo, en Brasil, una gran cantidad de estos desechos se depositan en rellenos de seguridad [2]. Lo anterior, motiva a la búsqueda de otros usos para lo cual es importante separar la cal de los residuos de descarnado.

Estos residuos representan entre un 60-70% del total generados en una curtiembre [5]. Debido a su contenido de colágeno y grasas, a nivel mundial se utilizan en el sector cosmético, también se emplean en la elaboración de gelatinas, jabones, concentrados para animales, entre otros usos [6,7]. Para aprovechar como materia prima estos desechos que contienen gran cantidad de agua (80%), pero en menor proporción colágeno (8%), sales minerales (8%) y grasas (4%) [8]; inicialmente se debe llevar a cabo un proceso de desencalado, donde se genera una reacción química de neutralización, buscando eliminar el óxido de calcio o cal que estos contienen. Esta sustancia se presenta como resultado del ataque químico realizado en la etapa de encalado o pelambre en las curtiembres. Además, se debe velar por conservar el porcentaje de grasa más elevado posible. En esta investigación se evaluó el desencalado de los residuos de descarnado (cuando la carne es retirada del animal) originados en las curtiembres del municipio de Sampués, situado en el departamento de Sucre en Colombia.

Figura 1. Proceso de fabricación del cuero desarrollado en Sampués, Sucre - Colombia [9].
Figure 1. Leather manufacturing process developed in Sampués, Sucre - Colombia [9].



Fuente: Autores.
Source: Authors.

El proceso de fabricación del cuero desarrollado en esta población, tal como se observa en la Figura 1, se inicia con la recepción de pieles vacunas crudas o frescas y saladas. Estas se encuentran adheridas de materiales propios del animal, como sangre; además de tierra e impurezas en general. Una vez llegan a las curtiembres, las pieles son clavadas al suelo perforándolas y estacándolas (ver Figura 2), para extenderlas e iniciar su primer proceso de descarnado, que consiste en retirar la carne adherida, grasa y sangre mediante las aves de rapiña que habitan en las instalaciones. Simultáneamente las pieles se dejan expuestas al sol durante un tiempo que varía de 3-4 horas [9]. Posteriormente se realiza la etapa de encalado o pelambre, que consiste en sumergir las pieles en baños saturados de hidróxido de calcio por un tiempo de 12-15 días y que contienen sulfuro de sodio, para conseguir el desprendimiento de pelos [9]. El ataque químico descompone la estructura del pelo en la raíz. Teniendo en cuenta que a nivel mundial este método de depilado es altamente contaminante, se han realizado diferentes estudios orientados al uso de enzimas que disminuyen su impacto ambiental [10]. Una vez llevada a cabo esta operación se procede a realizar el segundo proceso de descarnado (ver Figura 3), en donde manualmente se retiran los restos de descarnado y grasa. De 800 pieles procesadas, se generan aproximadamente 5600 kg de descarnado/mes [9]. Sin embargo, los residuos de descarnado del proceso de curtición semiartesanal producidos en Sampués, departamento de Sucre en Colombia; son vistos como desechos del proceso.

Cuando la piel está libre de pelos y descarnes, es desencalada mediante su inmersión en baños de agua durante un tiempo de 2-3 días y su posterior lavado por 3-4 horas en un baño tipo fulón que contiene agua mezclada con sulfato de amonio y bisulfito de sodio [9], cuyas sustancias químicas contribuyen a la eliminación del óxido de calcio y sulfuro de sodio que se adicionaron en la etapa de pelambre en las pieles; siendo el fulón o bombo una cuba giratoria de madera. Este procedimiento se lleva a cabo a una temperatura que oscila entre 27 y 32°C [11].

Las pieles una vez limpias son llevadas al proceso de curtido, donde se utiliza la goma que se obtiene de las semillas de la planta del dividivi (*Caesalpinia coriaria*) previamente molidas, ácido bórico y bisulfito de sodio como agente curtiente, este proceso se realiza en una tina con agua con el objeto de garantizar que tanto las sustancias químicas, como el tanino proveniente de la leguminosa, además del agua penetren. Luego, las pieles se trasladan a otra tina donde se le adiciona más cantidad de agua y ácido gálico proveniente del dividivi que se une mediante puentes de hidrógeno a los grupos carboxílico y amino presentes en las pieles [2]. El curtido al vegetal se lleva a cabo por un tiempo de 2 días [9]. De este modo, se contribuye a minimizar el impacto ambiental que generan estas curtiembres. A continuación, se lavan las pieles y luego se secan al sol estirándolas sobre el suelo con el lado donde estuvo adherida la carne del animal hacia arriba, por medio de la utilización de estacas [9], tal como se observa en la Figura 4.

Figura 2. Pieles clavadas al suelo.
Figure 2. Skins nailed to the floor.



Fuente: Autores.
Source: Authors.

Figura 3. Retiro manual de los restos de descarnes y grasa.
Figure 3. Manual removal of fleshing wastes and grease.



Fuente: Autores.
Source: Authors.

Figura 4. Pieles secadas al sol.
Figure 4. Sun-dried skins.



Fuente: Autores.
Source: Authors.

2. METODOLOGÍA

El diseño metodológico fue establecido en otro estudio respecto al tema [1]. La investigación siguiendo un enfoque cualitativo-descriptivo se ejecutó en cuatro fases. Durante el proceso simulado la temperatura del fulón, su tiempo de operación y la concentración del agente descalcante, se establecieron como variables independientes; mientras la presencia de cal en los residuos de descarnes y su porcentaje de grasa se identificaron como las variables dependientes. El tamaño de la muestra para los tratamientos y el tiempo de almacenamiento de los residuos de descarnes se constituyeron como variables de control.

Fase I: recolección y selección de la materia prima

Se recolectaron residuos de descarnes de pieles vacunas, obtenidas en el proceso de curtición al vegetal desarrollado por la Asociación de Curtidores de Sampués (ACUSAM), en Sucre. La caracterización se realizó tomando una muestra representativa y homogénea para examinar los tratamientos. Las muestras se redujeron al tamaño de 1 cm² aproximadamente. Es importante destacar que se conservaron refrigeradas para sus análisis de porcentaje de grasa empleando el método Soxhlet [12], en el que se usó un extractor digital (modelo S-2E, marca E&Q); también se realizó una identificación de cal utilizando un espectrofotómetro de adsorción atómica de llama con aire-acetileno (modelo 3110, marca Perkin Elmer). Además, se realizaron pruebas de pH usando un potenciómetro (modelo UB-10, marca Denver Instrument).

Fase II: aplicación de tratamientos

Se analizaron los baños termotratados de descalcado, mediante un sistema de agitación que simuló las revoluciones del fulón en el proceso agroindustrial, a dos temperaturas diferentes, 28 y 30°C; se aplicó como agente descalcante ácido sulfúrico en dos concentraciones distintas 1,0 y 1,5 M las cuales dependieron de un rango de pH entre 6,5-7,5 para retirar la cal impregnada en los residuos de descarnes. Este análisis también simuló dos tiempos de operación del bombo, 2 y 4 horas. Se realizaron ocho tratamientos con tres repeticiones.

Fase III: evaluación de los tratamientos

Se compararon los resultados obtenidos de las muestras antes y después de los tratamientos aplicados.

Fase IV: análisis de resultados

Se examinaron los resultados de las muestras seleccionadas en los diferentes tratamientos. Se definió como universo a todas las curtiembres; se identificó como la población objetivo a las curtiembres de ACUSAM; y como muestra se señaló a sus residuos de descarte generados en el proceso de curtiembre.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2^k siendo K los factores evaluados, con cuya estructura $2 \times 2 \times 2$ se determinó la correlación existente entre las variables independientes y dependientes.

El procesamiento y análisis de los datos se realizó con el programa estadístico Statgraphics Centurium II demo. Se diseñó un análisis de varianza (ANOVA), con una confiabilidad del 95%, valor $P < 0,05$ que mostró los resultados obtenidos que presentaron diferencias estadísticas significativas. Además, se utilizó la prueba de múltiples rangos, con el mismo nivel de confiabilidad, que determinó cuáles medias fueron diferentes de otras, para finalmente escoger el mejor tratamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de descarte que se analizaron al inicio de la investigación, presentaron las características de los valores promedio que se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características iniciales de las muestras de descarte.
Table 1. Initial characteristics of fleshing samples.

pH	% Grasa en base seca	CaO (mg/L)
11,4	27,04	339,31

Fuente: Autores.
Source: Authors.

En otro estudio se reportó que los residuos de descarte frescos presentaron un contenido de grasa del 63,5% y un pH que osciló entre 9,5-11,5 [3]. También mediante resultados de investigaciones, se han obtenido valores del porcentaje de grasa equivalente al 84,80% cuando los residuos de descarte tienen un pH de 11,05 [1]; demostrándose que el contenido de grasa en estos desechos provenientes de las curtiembres es muy variable.

La Tabla 2 da a conocer las características de los valores promedio de las muestras de descarte, después de haber sido aplicado los ocho tratamientos que se utilizaron para simular los baños termotratados de descalcado tipo fulón.

Tabla 2. Características de las muestras de descarte después de los tratamientos.
Table 2. Characteristics of fleshing samples after treatments.

	Tratamiento pH	T (°C)	M _{H2SO4}	% Grasa en base seca	CaO (mg/L)
Después de 2 h	No. 1 7,0-7,5	28 1,0		19,39*	283,64*
	No. 2 6,5-7,0	28 1,5		19,74*	301,01
	No. 3 7,0-7,5	30 1,0		17,24*	318,19
	No. 4 6,5-7,0	30 1,5		20,46	310,21
Después de 4 h	No. 5 7,0-7,5	28 1,0		23,86	290,69*
	No. 6 6,5-7,0	28 1,5		25,11	280,96*
	No. 7 7,0-7,5	30 1,0		18,57*	274,85*
	No. 8 6,5-7,0	30 1,5		22,77	253,20*

Fuente: Autores. / Source: Authors.

En el desencalado, el pH es un parámetro químico fundamental, porque ayuda a establecer su efectividad. Un pH mayor a 8,2 indica que el proceso aún no ha terminado; mientras un pH menor demuestra lo contrario [13]. Después de llevar a cabo los tratamientos, siempre se alcanzó un valor de pH menor a 8,2 en los residuos de descarnes analizados, que representó el retiro de cal de estas. Este descenso demuestra que esta sustancia química reacciona con el agente desencalante utilizado y origina sulfato de calcio, sal no tóxica usada como suplemento dietario en alimentos para animales, fácil de separar de estos residuos [3].

El análisis ANOVA presentó con una confiabilidad del 95% un valor $P = 0,0234$ demostrando que la interacción entre la temperatura y tiempo de operación del bombo, además de la concentración del agente desencalante, influyó sobre el porcentaje de grasa de los residuos de descarnes. Lo anterior también fue observado por otros investigadores quienes evaluaron la temperatura del fulón en tres niveles, 26, 30 y 35°C; el ácido sulfúrico como agente desencalante en tres niveles 0,5; 1,0 y 1,5 M; además el tiempo del proceso de desencalado en dos niveles, 4 y 8 horas [1].

En otro estudio los baños termotratados se llevaron a cabo a una temperatura de 28°C y se analizaron dos factores, el ácido sulfúrico como agente desencalante en dos niveles 0,5 y 1,0 M; además el tiempo de agitación de los residuos de descarnes en el bombo en tres niveles, cuyos valores fueron 2, 3 y 4 horas. En esta investigación se observó que únicamente la concentración del agente desencalante incide en la cantidad de grasa contenida en las muestras de descarnes [3].

Es importante destacar que, en el actual estudio, los factores evaluados influyeron sobre la cantidad de cal que presentaron, tal como lo demostró un valor $P = 0,0157$. Además, con un nivel de confianza del 95%, la prueba de comparación de medias indicó, que los valores de los tratamientos mostraron disminución de grasa y cal en comparación con el blanco de las muestras. También se observaron diferencias significativas entre el blanco y los tratamientos 1, 5, 6, 7 y 8. Se conservó el más alto porcentaje de grasa en base seca posible en las muestras de los residuos de descarnes (22,77%) y la mayor eliminación de cal de estos (253,20 mg/L), después de 4 horas de generado el proceso de desencalado, siendo escogido el tratamiento 8 que se realizó a las siguientes condiciones: 30°C y 1,5 M de ácido sulfúrico, como el mejor. Aunque no presentó el mayor contenido de grasa (tratamiento 6 = 25,11%), mostró la menor cantidad de cal. El ácido sulfúrico es un óptimo agente desencalante y durante esta investigación presentó este mismo comportamiento.

En el año 2016, los resultados de una investigación dieron a conocer que las temperaturas de 26 y 30°C, además de las concentraciones del ácido sulfúrico de 1,0 y 0,5 M utilizadas en el bombo, no afectan significativamente el desprendimiento de grasa. Sin embargo, al comparar los tiempos de duración del proceso de desencalado 4 y 8 horas, las pérdidas de la cantidad de grasa en las muestras de descarnes fueron mayores cuando se trabajó 8 horas [1]. Un estudio publicado en el año 2017 concluyó que es posible separar la cal a una temperatura de 28°C al utilizar 1,0 M de ácido sulfúrico en el proceso de desencalado de los residuos de descarnes originados en las curtiembres, cuando se emplea un tiempo de operación de 3 horas [3].

El aprovechamiento de los residuos de descarnes, en Colombia, ha sido implementado por varias curtiembres dentro de sus programas de producción limpia, con resultados económicos satisfactorios. Lo anterior demuestra la importancia de este estudio. Los residuos de descarnes se aprovechan para elaborar diversos productos, tales como gelatinas, jabones, para el mismo tratamiento del cuero porque se usa junto con los aceites en el engrase. También, se emplean para generar energía; como carbón activado para remover color de las aguas residuales; para producir biopolímeros; en la búsqueda del aislamiento de enzimas. Además, se utilizan en la elaboración de concentrados para animales a los que se les adiciona aminoácidos sintéticos; como adsorbente de sonido [1,2,5-8] y biocombustibles [14,15].

Es importante destacar que en Colombia y en otras partes del mundo, se han utilizado los residuos de descarnes provenientes de plantas de sacrificio para producir coagulantes naturales que mejoran el proceso de clarificación del agua [16], tal como lo llevan a cabo los coagulantes naturales de origen vegetal [17]. Por lo anterior, los residuos de descarnes provenientes de las curtiembres pueden ser usados para tal fin.

4. CONCLUSIONES

El proceso de desencalado simulado, retiró la cal de los residuos de descarte originados en las curtiembres del municipio de Sumpués, Sucre-Colombia. La interacción entre la temperatura del fulón, su tiempo de operación y la concentración del agente desencalante, incidió sobre la cantidad de grasa y cal que presentaron. Se estableció que las menores pérdidas de grasa en las muestras de descarte y la mayor eliminación de cal de estas, se obtuvieron cuando se trabajó 4 horas el proceso de desencalado, siendo escogido el tratamiento 8 que se realizó a las siguientes condiciones: 30°C y 1,5 M de ácido sulfúrico, como el mejor. El ácido sulfúrico como agente desencalante, retiró gran cantidad de cal presente en los residuos de descarte.

REFERENCIAS

- [1] Y. Aguas, R. Olivero, I. Mercado, K. Cury, C. Martínez, A. Paris, "Análisis del tratamiento ideal usando baños termotratados para la separación de cal de los residuos de descarte en curtiembres". *Ingenierías USBMed*, 7 (1), 20-25, 2016. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/1809>
- [2] C. Rigueto, M. Rosseto, D. Krein, B. Ostwald, L. Massuda, B. Zanella, A. Dettmer, "Alternative uses for tannery wastes: a review of environmental, sustainability, and science". *Journal of Leather Science and Engineering*. 2, article 21, 2020. <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00034-z>
- [3] S. Peñate, N. Guzmán, Y. Aguas, A. Martínez, K. Cury, "Evaluación del proceso de desencalado de residuos de descarte de un proceso de curtición". *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9 (supl 2), 253-259, 2017. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.607>
- [4] Md. Hashem, Md. Nur-A-Tomal, "Tannery solid waste valorization through composite fabrication: A waste-to-wealth approach". *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 37 (5), 1722-1726, 2018. <https://doi.org/10.1002/ep.12860>
- [5] K. Chojnacka, D. Skrzypczak, K. Mikula, A. Witek-Krowiak, G. Izdorczyk, K. Kuligowski, P. Bandrow, M. Kulażyński, "Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy". *Journal of Cleaner Production*. 313, article 127902, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127902>
- [6] I. Onukak, I. Mohammed-Dabo, A. Ameh, S. Okoduwa, O. Fasanya, "Production and characterization of biomass briquettes from tannery solid waste". *Recycling*. 2 (4), article 17, 2017. <https://doi.org/10.3390/recycling2040017>
- [7] Y. Tang, J. Zhao, Y. Zhang, J. Zhou, B. Shi, "Conversion of tannery solid waste to an adsorbent for high-efficiency dye removal from tannery wastewater: A road to circular utilization". *Chemosphere*. 263, article 127987, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127987>
- [8] S. Selvaraj, V. Jeevan, R. Rao Jonnalagadda, N. Nishad Fathima, "Conversion of tannery solid waste to sound absorbing nanofibrous materials: A road to sustainability". *Journal of Cleaner Production*. 213, 375-383, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.144>
- [9] ACUSAM, ASMITASAM, Plan de negocios forjadores del sector cuero en Sumpués. Colombia: Programa de apoyo y desarrollo del microempresario rural (PADEMER), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2008.
- [10] P. Sujitha, S. Kavitha, S. Shakilanishi, N. Babu, Ch. Shanthi, "Enzymatic dehairing: A comprehensive review on the mechanistic aspects with emphasis on enzyme specificity". *International Journal of Biological Macromolecules*. 118 (Part A), 168-179, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.081>
- [11] S. Dixit, A. Yadav, P. Dwivedi, M. Das, "Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review". *Journal of Cleaner Production*, 87 (15), 39-49, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.017>
- [12] Association of Official Analytical Chemists, *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15th Edition. United States of America: AOAC, 1990.
- [13] C. Arango, A. Alzate, O. Tobón (2004), Manual ambiental sectorial: proyecto gestión ambiental en la industria de curtiembre en Colombia [Internet]. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA), Medellín, Colombia. Disponible desde <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/sectorial.pdf>> [Acceso 13 de agosto 2022].
- [14] K. Devaraj, S. Aathika, Y. Mani, A. Thanasaru, K. Periyasamy, P. Periyaraman, K. Velayutham, S. Subramanian, "Experimental investigation on cleaner process of enhanced fat-oil extraction from alkaline leather fleshing waste". *Journal of Cleaner Production*. 175, 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.089>
- [15] P. Puhazhselvan, R. Aparna, N. Ayyadurai, M. Gowthaman, P. Saravanan, N. Kamini, "Enzyme based cleaner process for enhanced recovery of lipids from tannery fleshing waste". *Journal of Cleaner Production*. 144, 187-191, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.148>
- [16] G. Moreno, I. Ricardo, I. Mercado, "Evaluación de la eficiencia de los residuos de plantas de sacrificio como coagulante natural". *Investigación e Innovación en Ingenierías*. 8 (2), 62-74, 2020. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3615>
- [17] K. Riaños, M. Meza, I. Mercado, "Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants". *Dyna*. 86 (209), 73-78, 2019. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.73687>