

<https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.692>

Rediseño industrial en los procesos de curtido de pieles

Benjamín David Carril Verastegui
<https://orcid.org/0000-0001-6010-0175>
bcarril@unitru.edu.pe
Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo-Perú

Daniel Jesús Castro Vargas
<https://orcid.org/0000-0003-0618-6013>
djcastrov@unach.edu.pe
Universidad Nacional Autónoma de Chota
Chota-Perú

Julio Machaca-Mamani
<https://orcid.org/0000-0003-4866-3885>
jcmachaca@unajma.edu.pe
Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú

Julio César Lujan Minaya
<https://orcid.org/0000-0003-3752-824X>
jlujan@undc.edu.pe
Universidad Nacional de Cañete
Cañete-Perú

Katherine Elizabeth Yenque Guerrero
<https://orcid.org/0000-0002-2645-8883>
kyenque@unajma.edu.pe
Universidad Nacional José María Arguedas
Andahuaylas-Perú

Alvaro Larry Luis Felipe Mendoza Castillo
<https://orcid.org/0000-0002-2877-2622>
alvaro.mendoza@upn.pe
Universidad privada del Norte
Trujillo-Perú

Recibido (18/10/2022), Aceptado (11/01/2023)

Resumen: El trabajo estuvo centrado en la evaluación y rediseño de procesos en el sistema de producción de tratamiento del cuero. El tratamiento del cuero es una industria con mucho auge en las regiones andinas de Latinoamérica. En este sentido, este estudio se basa en una tannería ubicada en Perú, Es por ello que este trabajo se dedica a desarrollar una aproximación de mejora de procesos basados en la optimización de los desplazamientos del personal y del correcto estudio de la planificación de las áreas en donde se ejecutan las acciones que dan como fin la obtención del cuero utilizando estrategias que no requieran costosas inversiones en herramientas o software, ya que lo que se busca es optimizar procesos sin realizar grandes inversiones de capital.

Palabras clave: Tratamiento de cuero, rediseño industrial, procesos industriales.

Industrial redesign in leather tanning processes

Abstract.- The work was focused on evaluating and redesigning processes in the leather treatment production system. Leather treatment is a booming industry in the Andean regions of Latin America. In this sense, this study is based on a tannery located in Peru. This work is dedicated to developing an approach to improve processes based on optimizing personnel movements. The correct study of the planning of the areas where the actions that aim to obtain leather are executed using strategies that do not require expensive investments in tools or software since optimizing processes without making significant capital investments is sought.

Keywords: Leather treatment, industrial redesign, industrial processes.



I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de la piel de bovinos y caprinos tiene un origen prehistórico [1]. El proceso de tratamiento data de épocas remotas, este consta de la aplicación de sustancias vegetales, como los taninos, lo cual permite una durabilidad del material y flexibilidad [2]. Hasta el presente el cuero sigue siendo un material de gran durabilidad, belleza y calidad, que permite la creación de prendas en una amplia variedad, desde zapatos, bolsos, correas, gorras, carteras, y una diversidad de artículos que son elaborados con cuero [3] y es por esto que su uso no parece estar cerca de desaparecer, sino que, por el contrario, según datos de la FAO [4], la producción de cuero en el mundo ha ido en aumento.

La introducción del tratamiento del cuero a base de cromo, que acorta el tiempo de curtido, ha permitido obtener mayor producción de dicho material en una menor cantidad de tiempo. Esta práctica ha traído como resultado el aumento de los niveles de contaminación en la industria [5]. Por ello la industria requiere de nuevas prácticas que permitan su sostenibilidad a largo plazo [6] [7] y que a su vez contribuya a la economía de los países productores [8]. Es por ello que se observa en la literatura científica una creciente preocupación por abordar temas que se enfoquen en solventar los problemas asociados a la producción de cuero. Desde el manejo de las aguas residuales contaminadas [9] hasta una visión más integrada del manejo de los desperdicios asociados a la industria [10]. Algunas alternativas pasan por la eliminación del uso del cromo mediante nuevos procesos [11] y el uso de bio-solventes para el tratamiento de las aguas contaminadas [12].

A pesar de que los países emergentes son los mayores productores de cuero a nivel mundial, muchas de sus fábricas presentan niveles bajos de automatización de procesos, lo que influye en la eficacia de producción [13], un personal con bajos niveles de cualificación y por ende un nivel de productividad bajo con altos niveles de contaminación y escasos márgenes de beneficios. Esto sucede por un conjunto de desventajas competitivas como pueden ser políticas que no estimulan financiamiento para esta industria, falta de organismos de capacitación de personal en las labores asociadas a la industria, falta de control en las cadenas de suministros que garanticen el suministro de pieles de calidad para su posterior uso, entre otros diversos factores.

El siguiente trabajo se estructura de la siguiente manera: 1) análisis de los procesos involucrados en la producción del cuero, 2) desarrollo conceptual de los procesos ejecutados en la industria del cuero, las variables a medir y los procedimientos necesarios para medir dichas variables, 3) metodología de trabajo, 4) resultados y conclusiones.

II. DESARROLLO

A. Tratamiento del cuero

El proceso para obtener el cuero, en muchas tenerías en Latinoamérica, siguen presentando un bajo nivel de automatización de planta, lo que las acerca más a la producción artesanal del cuero que a las industrias desarrolladas y altamente tecnificadas ubicadas en países como Alemania o Italia. Sin embargo, el proceso de producción del cuero es el mismo tanto en las industrias automatizadas como en las artesanales, con algunas variaciones en cuanto al procesamiento de las pieles. Esas etapas comunes son las siguientes: precurtido, curtido y poscurtido [2] y se explican brevemente a continuación y de manera general:

B. Precurtido

En la etapa de precurtido se reciben las pieles provenientes de los mataderos y que son seleccionadas para ser curtidas. Para ello se deben eliminar aquellos elementos inadecuados para el curtido como el pelo, la sangre o excremento. El primer paso es aplicar sal a las pieles con una concentración que se ubica entre un 40 y 50 por ciento de cloruro de sodio [14] en peso, esto con el fin de evitar que la piel se pudra. Luego de esto sigue el remojo, paso en el que se rehidrata la piel con abundante agua y bactericidas para con ello eliminar los residuos de pelo, sangre u otros adheridos a las pieles. El siguiente paso consiste en tratar las pieles con cal, ello con el objetivo de eliminar proteínas presentes en la piel y preservar las fibras de colágeno. La cal contiene azufre y sulfuro de sodio que son fundamentales para evitar que vuelva a crecer pelo sobre la piel. Una vez conseguido este objetivo, las pieles pasan al proceso de depilado, desencalado y descarnado (industrialmente se hace con maquinaria, artesanalmente, con el rebajado con cuchillo), que corresponden al proceso de curtido.

a. Curtido

La piel que ha sido tratada en la fase de precurtido para poder ser procesada se somete al paso de piquelado para curtirla. En esta etapa la piel puede ser curtida mediante la técnica de curtido vegetal, curtido al cromo u otra técnica, esto depende de las características de la compañía y su nicho de mercado [15].

b. Poscurtido

En esta etapa ya la piel ha alcanzado las características necesarias (azul húmedo, blanco húmedo) para un último proceso que consiste en volver curtir la piel con sustancias vegetales, con taninos y resinas que le dan la apariencia final al cuero (o cromo en el caso de ser procesadas más industrialmente. Luego se aplican tintes y compuestos grasos para lograr suavidad al tacto y resistencia en las pruebas de esfuerzo mecánico. Al final se le coloca una capa de laca como recubrimiento final del producto [16].

C. Comparaciones entre el proceso de fabricación industrial y artesanal

A pesar de los procesos en común, la producción actual en la industria de cuero posee etapas adicionales en cuanto al procesamiento de las pieles que no se ejecutan en la industria artesanal de cuero. En la tabla 1. Se realiza una comparativa entre ambas:

Tabla 1. Comparativa entre los procesos de elaboración artesanal y actual del cuero.

Proceso	Artesanal	Actual
Salado (curado)	Las pieles se salan y se secan al sol	Las pieles se salan y a veces se refrigeran
Remojo	Las pieles se remojan para luego ser lavadas una vez, durante 6 o 24 horas	Las pieles se remojan en agua y detergentes, además de sulfuro de sodio, carbonato de sodio, biocidas y proteasas de remojo. Este proceso puede realizarse dos o más veces y durar entre 5 a 10 horas
Encalado/Depilado	Las pieles se sumergen en un compuesto conformado por cal, ceniza de madera, residuos de carburo de calcio y agua durante 12 o 24 horas. Luego, las pieles son depiladas mediante el uso de un cuchillo de doble mango.	Las pieles se sumergen en un preparado de cal compuesto por hidróxido de calcio, sulfuro de sodio e hidro sulfuro de sodio. El descarnado y el encalado ejecutan de manera simultáneamente. El pelo se retira y se destruye.
Desencalado/adelgazado	El desencalado y el adelgazado utiliza materiales vegetales en agua.	Para el desencalado se suele utilizar cloruro de amonio. El adelgazado (eliminación de la epidermis) de las pieles se consigue aplicando una solución de enzimas de proteasa (normalmente de origen bacteriano o animal).

Descarnado	Se realiza con un cuchillo de doble mango para llevar el cuero al grosor adecuado.	Se realiza con una máquina industrial.
Dividido	No se emplea	Cuando las pieles son gruesas se cortan en dos o más capas longitudinales
Piquelado (encurtido)	No se emplea	Paso previo al curtido de la piel y consta de un baño de la piel en una solución de cloruro de sodio, ácido fórmico y ácido sulfúrico.
Curtido	Se emplea el curtido vegetal con taninos, extraídos de la acacia o el castaño.	Se emplea cromo en un 80% de los casos. En otros casos se utiliza, aluminio, circonio o titanio.
Muestreo	No se emplea	Se elimina el exceso de agua de forma mecánica.
Cortado/Afeitado	No se emplea	Las pieles gruesas son divididas según el grosor que se necesite
Lavado	No se emplea	Se limpia la piel con agua y tensoactivos
Recurtido	No se emplea	Para fijar mejor el color del curtido se aplican sintanos y aldehidos al cuero
Neutralizado	No se emplea	Para estabilizar el PH de la piel se utiliza bicarbonato de sodio y acetato de sodio.
Teñido	Se aplican productos vegetales y minerales para lograr colores como rojo, negro o marrón.	Se utilizan colorantes en bases ácidas o metálicas
Engrasado	Se utiliza aceite vegetal	Se utilizan aceites en su fase emulsionada
Lavado	No se emplea	Se utiliza agua para eliminar residuos químicos del cuero
Secado	El cuero se seca al sol	En secadoras al vacío, mediante radiación, por palanca o por pasta. Por lo general se estiran.
Acabado	Se estiran manualmente y se recortan con tijeras	Se pulen, se lacan, se recubren, entre otros procesos para diversas finalidades.

D. Análisis de actividades relacionadas

Existen actividades productivas que requieren que los materiales que utilizan y las etapas en las cuales se estructura un proceso estén definidas por la proximidad de la acción a ejecutar. Esto se hace mediante una carta de actividades relacionadas [17] donde se pueden observar mediante la intercepción de los ítems que conforman la carta que tan recomendable o no es que una actividad se encuentra adyacente o en las inmediaciones de otra. La carta de actividades relacionadas sigue el patrón del mostrado en la Fig. 1.

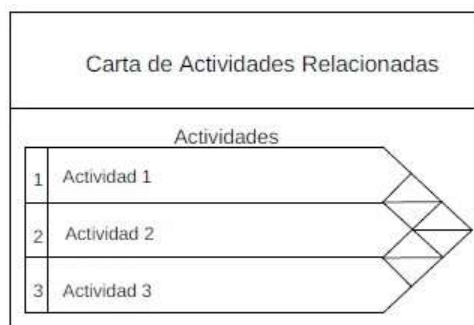


Fig. 1. Actividades relacionadas

Casos en los que se clasificará la afinidad o proximidad entre actividades:

- A: Es absolutamente necesario.
- E: Especialmente importante.
- I: Importante.
- O: Ordinaria (Adecuada).
- U: Sin importancia.
- X: Proximidad Indeseable.

El segundo criterio de afinidad es el motivo o razón de afinidad o proximidad, que explica la necesidad de proximidad entre ciertas actividades. Se enumeran de la siguiente forma:

1. Flujo de Materiales
2. Necesidad de comunicación del personal
3. Uso del mismo equipo
4. Uso de los mismos archivos
5. Supervisar y controlar
6. Grados de frecuencia en la comunicación
7. Se comparte la misma área
8. Funciones Complementarias
9. Ejecución de trabajos similares
10. Ruidos, vibraciones, emanaciones, peligros.
11. Conveniencia
12. Grado de Urgencia.

Como se puede observar en la Fig. 1. Se producen intercepciones conformadas por las áreas que comprenden el proceso productivo. En estas intercepciones se define la pertinencia o no de la relación dependiendo de si están relacionadas en algún grado, es decir, la clase de proximidad y el motivo de proximidad que ocurre entre ellas. Esto se aplicará en el estudio de la fábrica de cuero.

III. METODOLOGÍA

Se realiza una investigación documental que nace a partir de la revisión de material académico, principalmente se ha realizado la revisión detallada del trabajo de tesis presentado en [18], donde se ha evaluado la producción del cuero en la curtiembre Jb Sac. de Trujillo, en Perú. Se empleó un análisis de producción mediante una metodología descriptiva cuantitativa de las acciones que se ejecutan en la fábrica para obtener cuero. Se analizaron tanto las áreas de producción, la secuencia lógica de procesos, la ubicación espacial de las áreas en donde se ejecutan los procesos y los tiempos requeridos para completar cada una de las actividades del área.

IV. RESULTADOS

La industria del cuero en Perú representa una fuente de empleo para las comunidades en diversas regiones del país, pero se enfrenta a problemas de sostenibilidad en parte a problemas estructurales en la financiación de la industria como en la adecuación tecnológica que requiere para que su impacto medioambiental se reduzca. Sin embargo, existen problemas operativos que se pueden resolver con una aproximación de análisis de procesos y de adecuación industrial que permitirían sin costosos esfuerzos financieros mejorar la productividad de la industria. Para ello mediante el estudio de un caso particular se puede establecer un conjunto de prácticas que podrían ser empleadas de manera general para mejorar la producción del cuero como también limitar su impacto medioambiental. Para ello se elaboró una ruta de trabajo para la tenería Curtiembre JB SAC ubicada en Trujillo, Perú, la cual emplea las siguientes actividades en las etapas de precurtido, curtido y poscurtido, observados en la tabla 2.

Tabla 2. Subprocesos ejecutados.

1. Preprocesamiento
2. Remojo / Depilado
3. Salado / Desinfectado
4. Encalado
5. Desencalado /Lavado
6. Piquelado
7. Curtido
8. Descarnado
9. Secado
10. Engrase y Tintura
11. Embalado / Embarque

La distribución física de las áreas de trabajo se detalla en la Fig. 2. Que muestra el plano técnico de las instalaciones.



Fig. 2. Plano de planta de la tenería.

Se puede observar que existen procesos que se encuentran alejados de otros que se supone deberían ser adyacentes. Se observan también procesos que se cruzan, y que no siguen una secuencia adecuada. Para comprobar la mala distribución de planta, desde un punto de vista de la eficacia de producción, se realiza el cálculo de actividades relacionadas. Para ello se realizó un informe en sitio que arrojó los valores observados en la tabla 3, en cuanto a tiempo de desplazamiento por empleado y costo por personal que labora en las instalaciones.

Es importante señalar que una adecuada distribución de planta no provoca el cruce de empleados, ya que puede perjudicar el flujo laboral y el choque de productos y servicios. Además, las áreas adyacentes por su participación dentro del mismo proceso deben estar cercanas, para que el flujo de trabajo sea continuo y eficiente. En la tabla 3 se presentan los tiempos de traslados, que como puede verse no son óptimos por la mala distribución de los espacios de trabajo.

Tabla 3. Medición de tiempos de traslados.

Proceso	Actividad	Cantidad de Pieles Procesadas al día	Cantidad de Traslados	Tiempo por traslado (Segundos)	Total de Tiempo (Segundos)	Costo de Operario (USD/h)	Costo Total diario (USD)
Recepción de Pieles y productos químicos	Trasladar las pieles seleccionadas para su preprocesamiento.	600	3	180	540	1.01	0.15
Preprocesamiento de pieles	Descargar las pieles como la cola, heces, entre otros.	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Quitar los excedentes de la piel						
	Trasladarlas al área de remojo/ depilado						
Remojo/ depilado	Descargar pieles	600	8	180	1440	1.01	0.40
	Transporte al área de depilado.	600	8	180	1440	1.01	0.40
	Transportar las pieles al área de Batanes 1-5.	600	600	80	48000	1.01	13.43
Actividades del Área de Batanes 1-5	Descargar pieles	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Introducción y descarga de los batanes.						
	Traslado al área de curtido y recurtido (Batán 6)	600	600	60	36000	1.01	10.08
Área de Batán 6 y Descarnado	Descargar pieles	600	600	80	48000	1.01	13.43
	Transportar a área de descarnado	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Transportar pieles al área de secado	600	600	80	48000	1.01	13.43
Secado al Ambiente	Colgar Pieles						
	Descolgar Pieles						
	Apilar Pieles						
	Transportar Pieles hacia el área de Ablandado	600	3	180	540	1.01	0.15
	Descargar Pieles de la Carretilla	600	600	60	36000	1.01	10.08
Secado al Ambiente	Colgar Pieles						
	Descolgar Pieles						
	Apilar Pieles						
	Transportar Pieles hacia el área de Ablandado	600	3	180	540	1.01	0.15
	Descargar Pieles de la Carretilla	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Ablandar Pieles (Zaranda)						
Área de Engrasado (Ablandado Zaranda Lijado Togly)	Recepción de Pieles de la Zaranda						
	Apilar Pieles en la Carretilla						
	Transportar Pieles hacia el área de lijado	600	3	240	720	1.01	0.20
	Descargar Pieles de la Carretilla	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Transportar Pieles	600	200	50	10000	1.01	2.80
	Lijar Pieles						
	Apilar Pieles						
Tintura	Transportar mantas a área de Togly	600	200	30	6000	1.01	1.68
	Apilar Pieles						
	Introducir Pieles al Togly						
	Descargar Pieles del Togly a la Carretilla	600	600	60	36000	1.01	10.08
	Transportar Pieles a el área de Pintado	600	3	250	750	1.01	0.21
Tintura	Descargar Pieles de la Carretilla	600	600	80	48000	1.01	13.43
	Colocar Pieles en Cabina						
	Pintar Pieles						
	Descolgar Pieles						
	Trasladar Pieles de forma Manual	600	200	600	120000	1.01	33.58
Planchado	Planchar Pieles						
	Recepción de Pieles Planchadas						
	Trasladar pieles manualmente	600	200	600	120000	1.01	33.58
Medición Embalaje y Embarque	Medir Pieles						
	Apilar en paquetes las pieles						
	Trasladar Pieles al almacén	600	200	600	120000	1.01	33.58
					825430		231.01

De esta carta se puede observar cuáles áreas poseen relaciones importantes en cuanto a la adyacencia operativa. Las áreas de batanes 1-5 y Batán 6 deberían ubicarse de forma adyacente. De igual modo la administración debe ubicarse cerca del almacén de materias primas, igual que el área donde se almacenan los productos químicos debería estar en las adyacencias del almacén (en este caso despacho) de materias primas. También se observa que las áreas de pintura, engrasado, descarnado y secado deben ubicarse dentro de sus adyacencias para optimizar los desplazamientos del personal y por ende optimizar la producción y el esfuerzo laboral.

Se pueden seguir profundizando en todas las áreas relacionadas por sus actividades adyacente. Sin embargo, es clave observar las áreas identificadas como más importantes, que son: Administración, almacén de materias primas, área de preprocesamiento, área de batanes, área de secado, áreas de engrasado y pintura.

Luego de este análisis se puede sectorizar a las áreas según la afinidad y según qué áreas no son convenientes colocar juntas. De esto se desprende que, como se expresó en un párrafo anterior:

1. Las áreas de batanes deben estar adyacentes en lo posible
2. Las áreas de preprocesamiento, remojo y depilado deben estar en las inmediaciones del área de los batanes.
3. Las áreas de secado, engrasado y tintura deben estar adyacentes.
4. Las áreas libres deben estar en el centro de las áreas operativas.

En la Fig. 4. Se muestra la nueva distribución de planta sugerida, destacando que existen limitantes que no permiten una distribución como se obtuvieron en los cálculos, esto motivado a la presencia de columnas, cisternas, alcantarillado y vías de desecho que habría que adecuar a un costo importante. Es por esto que se realizó de manera esquemática y sin guardar medidas reales, solo con fines ilustrativos y además con el propósito de poder observar en qué medida puede mejorar la producción y el ahorro de desplazamientos con la nueva distribución de áreas de trabajo.

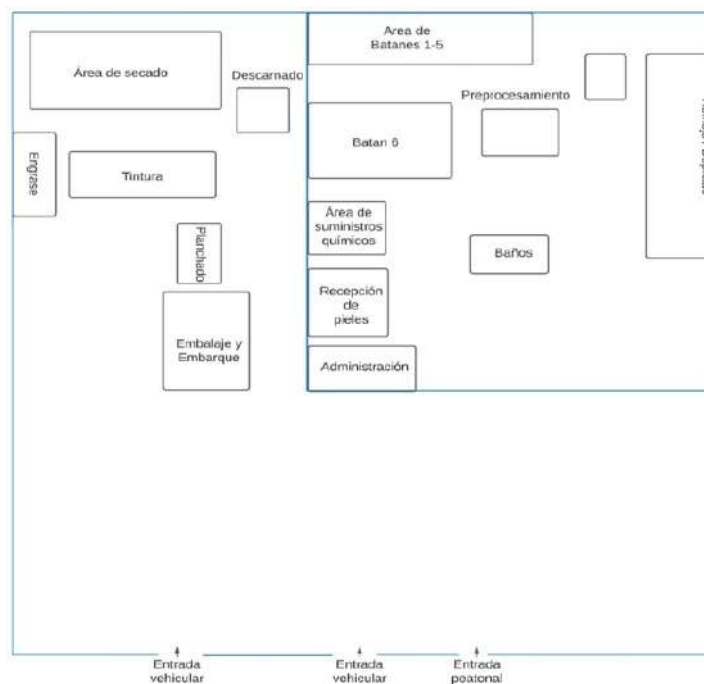


Fig. 4. Redistribución de las áreas de trabajo según el análisis de las áreas relacionadas

De esta manera acortan los tiempos de desplazamiento y se evitan cruces de personal en las áreas de trabajo. Una secuencia de procesos optimiza tanto la producción como tal, como también el esfuerzo total ejecutado por los trabajadores. Como se puede apreciar en la Fig. 4.

Con estos resultados se redujo el tiempo de proceso en un 48%. En cuanto al dinero invertido a diario en la labor del personal se pasó de USD 231.01 a USD 119.45, lo que equivale a un ahorro de 93% en inversión.

CONCLUSIONES

1. Mediante un estudio de redistribución de procesos y un estudio de los desplazamientos del personal entre áreas de trabajo, se puede mejorar la efectividad de la producción, evitar la sobrecarga de esfuerzo de los empleados y optimizar el uso de recursos financieros.
2. Debido a que la mayoría de las empresas de curtido de cuero en Latinoamérica nacen de una empresa familiar artesanal, es común encontrar en las tenerías en Latinoamérica que las áreas de trabajo no se ubican como correspondería a una aproximación adecuada de la secuencia de producción que se estableció en el estudio, y por tanto los procesos carecen de una continuidad que evite el cruce innecesario de personal y gastos innecesarios de producción.
3. La propuesta realizada en relación a la nueva distribución de planta, no solamente ayuda en el flujo de trabajo, sino que permite un ahorro importante de recursos y dinero, lo que representa una mejor producción en todo sentido, optimizando la labor diaria y asegurando un mejor traslado y recorrido del personal.
4. Sería importante generar nuevas investigaciones para el tratamiento de residuos en las empresas del cuero, ya que existen numerosos desperdicios que pudiesen tener algún tipo de tratamiento, lo cual implica un estudio de la producción más limpia en las fábricas del cuero.

REFERENCIAS

- [1] M. Appiah-Brempong, H. M. K. Essandoh, N. Y. Asiedu, S. K. Dadzie y F. W. Y. Momade, «An insight into artisanal leather making in Ghana.» *Journal of Leather Science and Engineering*, vol. 2, nº 25, pp. 1-14, 2020.
- [2] V. F. M. Silva, «Overview of the Leather Industry and Pollution Impact.» *University of Porto Journal of Engineering*, vol. 7, nº 4, pp. 1-15, 2021.
- [3] Z. Bai, X. Wang, M. Zheng, O. Yue, L. Xie, S. Zha y S. Dong, «Leather for flexible multifunctional bio-based materials: a review.» *Journal of Leather Science and Engineering*, vol. 4, nº 16, pp. 1-16, 2022.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), «World statistical compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear 1999-2015.» FAO, Rome, 2016.
- [5] K. Chojnacka, D. Skrzypczak, K. Mikula, A. Witek-Krowiak, G. Izydorczyk, K. Kuligowski, P. Bandrow y M. Kułazynski, «Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy.» *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, nº 2021, pp. 1-12, 2021.
- [6] F. Purba, O. Suparno y A. Suryani, «GREEN PRODUCTIVITY IN THE INDONESIAN LEATHER-TANNING INDUSTRY.» *Revista de Pielărie Încălțăminte*, vol. 20, nº 3, pp. 245-266, 2020.
- [7] K. Chojnacka, D. Skrzypczak, K. Mikula, A. Witek-Krowiak, G. Izydorczyk, K. Kuligowski, P. Bandrow y M. Kułazynski, «Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy.» *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, nº 2021, pp. 1-12, 2021.
- [8] D. Navarro, J. L. W. Wu, P. Fullana-i-Palmer y R. Puig, «Life cycle assessment and leather production.» vol. 2, nº 26, pp. 1-13, 2020.
- [9] B. Gopalakrishnan, A. Muthukumarapandian, S. Sujatha, S. Raja, N. Rajamohan y M. Rajasimman, «Statistical modeling and optimization of tannery wastewater treatment in a fluidized bed bioreactor with low density biomass support.» *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 8, nº 2022, p. 1099-1107, 2022.
- [10] M. Vimudha, P. Saravanan y B. Madhan, «Turning problem into possibility: A comprehensive review on leather solid waste intra-valorization attempts for leather processing.» *Journal of Cleaner Production*, vol. 367, nº 2022, pp. 1-21, 2022.
- [11] J. Shi, R. Zhang, Z. Mi, S. Lyu y J. Ma, «Engineering a sustainable chrome-free leather processing based on novel lightfast wet-white tanning system towards eco-leather manufacture.» *Journal of Cleaner Production*, vol. 282, nº 2021, pp. 1-33, 2021.
- [12] R. Natarajan y R. Manivasagan, «Treatment of tannery effluent by passive uptake—parametric studies and kinetic modeling.» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, nº 2018, p. 5071-5075, 2022.

- [13] A. Rese, D. Baier y T. M. Rausch, «Success factors in sustainable textile product innovation: An empirical investigation,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 321, nº 2022, pp. 1-19, 2022.
- [14] M. I. Sarker, W. Long III, C.-K. Liu, N. P. Latona, Piazza y G. J., «PRESERVATION OF BOVINE HIDE USING LESS SALT WITH LOW CONCENTRATION OF ANTISEPTIC,» de IULTCS, Dresden, 2019.
- [15] C. Zhao y W. Chen, «A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, nº 2019, p. 26102–26111, 2019.
- [16] E. Hansen, P. Monteiro de Aquim, A. Witt Hansen, K. J. Cardoso, A. L. Ziulkoski y M. Guterres, «Impact of post-tanning chemicals on the pollution load of tannery wastewater,» *Journal of Environmental Management*, vol. 229, nº 2020, pp. 1-9, 2020.
- [17] S. I. Cuellar Rivas, C. M. García Peña y C. A. Jovel Majano, «PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL SECTOR TENERÍAS DE EL SALVADOR,» Universidad del Salvador, San Salvador, 2008.
- [18] B. Carril y H. Sifuentes, «Análisis y mejora de procesos productivos para incrementar la eficiencia en la curtiembre Jb Sac. de Trujillo,» Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú, 2018.