

Evaluation of the Acoustic Absorption Capacity of Clay Bricks with the Incorporation of Cow Leather Chips

Lizbeth Pari Callata, Bach.^{}, Diego Salvador Condo Espino, Bach.^{}, Alfredo Manuel Canaza Masco, M.Sc.^{}, and Gerson José Márquez, Ph.D.^{}
Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19207311@utp.edu.pe, u18309228@utp.edu.pe, acanaza@utp.edu.pe,
gmarquez@utp.edu.pe

Abstract– Clay bricks modified with leather chips were developed to evaluate their acoustic absorption capacity in comparison with conventional bricks. The leather chips were ground and mixed with clay in a proportion of 4 wt.%. Two types of bricks were manufactured: one conventional and the other with the addition of leather chips, both with an approximate mass of 2 kg and dimensions of 14 cm x 22 cm x 7 cm. The bricks were made following the traditional brick manufacturing procedure. To evaluate the acoustic absorption of the bricks, acoustic tests were carried out on structures built with both types of bricks, using a sound level meter for the measurements. Sound intensities ranging between 58 and 75 dB were recorded, with no significant decrease in noise level when leather chips were incorporated into the bricks. The results indicate that there is no difference in the sound absorption capacity of the two types of bricks evaluated. Nevertheless, the use of leather chips in the manufacture of bricks represents an ecologically and economically viable alternative for use in construction.

Keywords-- bricks, leather chip, sound absorption, sound intensity, acoustic tests.

Evaluación de la Capacidad de Absorción Acústica en Ladrillos de Arcilla con la Incorporación de Viruta de Cuero Vacuno

Lizbeth Pari Callata, Bach.^{id}, Diego Salvador Condo Espino, Bach.^{id}, Alfredo Manuel Canaza Masco, M.Sc.^{id}, and Gerson José Márquez, Ph.D.^{id}
Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19207311@utp.edu.pe, u183092228@utp.edu.pe, acanaza@utp.edu.pe, gmarquez@utp.edu.pe

Resumen– Se desarrollaron ladrillos de arcilla modificados con viruta de cuero, con el objetivo de evaluar su capacidad de absorción acústica en comparación con ladrillos convencionales. La viruta de cuero fue molida y mezclada con arcilla en una proporción del 4 % en peso. Se fabricaron dos tipos de ladrillos: uno convencional y otro con la adición de viruta de cuero, ambos con una masa aproximada de 2 kg y dimensiones de 14 cm x 22 cm x 7 cm. Los ladrillos fueron elaborados siguiendo el procedimiento de fabricación de ladrillos tradicionales. Para evaluar la absorción acústica de los ladrillos, se realizaron ensayos acústicos en estructuras construidas con ambos tipos de ladrillos, utilizando un sonómetro para las mediciones. Se registraron intensidades de sonido que variaron entre 58 y 75 dB, sin apreciar una disminución significativa de nivel de ruido al incorporar la viruta de cuero en los ladrillos. Los resultados indican que no hay diferencia en la capacidad de absorción acústica de los dos tipos de ladrillos evaluados. A pesar de ello, el aprovechamiento de la viruta de cuero en la fabricación de ladrillos representa una alternativa ecológica y económicamente viable para su uso en construcción.

Palabras clave– ladrillos, viruta de cuero, absorción acústica, intensidad del sonido, pruebas acústicas.

I. INTRODUCCIÓN

La industria del cuero desempeña un papel fundamental en la economía y la sociedad. Desde prendas de vestir hasta muebles y accesorios, el cuero es un material versátil y ampliamente utilizado en numerosas industrias. Sin embargo, su producción y comercialización no están exentas de desafíos, que van desde preocupaciones ambientales hasta cuestiones éticas [1]. En este contexto, se explora la importancia, efectos y consecuencias de los residuos de la industria del cuero en diferentes niveles, desde la escala global hasta la realidad local en Arequipa, Perú.

A nivel global, la gestión de los residuos de viruta de cuero es un tema relevante debido a los impactos ambientales que puede tener. La acumulación de estos residuos puede contaminar el medio ambiente, afectando los ecosistemas y la salud humana. Además, la falta de regulaciones y prácticas sostenibles en algunos países puede agravar el problema y dificultar la mitigación de sus efectos negativos [2].

A nivel nacional, en el caso de Perú, la gestión de los residuos de viruta de cuero es un aspecto importante a considerar para garantizar la sostenibilidad de la industria del

cuero. A pesar de la importancia histórica de esta industria en regiones como Arequipa, la falta de tecnología moderna y prácticas ambientales adecuadas puede contribuir a la acumulación de residuos y aumentar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública [3].

A nivel local, en Arequipa - Perú, la gestión de los residuos de viruta de cuero puede tener un impacto directo en la comunidad y el entorno local. La acumulación de estos residuos puede afectar la calidad del medio ambiente, así como la salud de los residentes cercanos a las empresas de marroquinería. Además, la falta de infraestructura adecuada para la gestión de residuos puede dificultar su eliminación segura y responsable [4].

La reutilización de productos derivados de procesos industriales, como la viruta y el polvillo de cuero, se propone como una iniciativa importante para abordar el impacto ambiental negativo de las industrias de curtiembres y marroquinería en el país [5]. Estas industrias generan aguas residuales y residuos orgánicos que afectan el medio ambiente y la salud humana debido al uso de químicos como las sales de cromo para el curtido de las pieles [6], [7]. La literatura científica reciente muestra que existe un interés creciente en dar un nuevo uso a los residuos industriales, no solo como una opción sostenible, sino también como una alternativa económica para productos con distintas aplicaciones, como es el caso de productos no estructurales para la construcción [8]. Diversas investigaciones se han centrado en la revalorización y aprovechamiento de los residuos sólidos de la industria del cuero, como la viruta o polvillo de cuero, destacando su valor energético y su potencial para mejorar propiedades de productos como los ladrillos [9]-[11].

Los estudios han explorado diversas técnicas para el aprovechamiento de estos residuos, desde la producción de ladrillos hasta la fabricación de materiales compuestos. Se han realizado pruebas físicas y químicas para evaluar la viabilidad y las propiedades de los productos obtenidos [12]-[15]. Los resultados indican que los ladrillos con adición de viruta de cuero pueden tener propiedades mejoradas, como una mayor resistencia mecánica [16], [17]. Además, se ha demostrado que el tratamiento térmico en los ladrillos mejora su resistencia y operabilidad [18].

Otras aplicaciones de los residuos del cuero incluyen su uso en materiales compuestos para mejorar el aislamiento acústico y térmico, así como la fabricación de productos como el aislante de celulosa [19]-[21]. Estos hallazgos respaldan la importancia de abordar el problema de la gestión de residuos de la industria de la marroquinería y explorar alternativas de reutilización de los residuos de cuero para reducir su impacto ambiental [22].

La iniciativa de reutilizar productos derivados de procesos industriales, como la viruta y el polvillo de cuero, surge en respuesta al impacto ambiental significativo causado por las industrias de curtiembre y marroquinería, que generan aguas residuales y residuos orgánicos e inorgánicos [10]. Varios estudios respaldan la viabilidad de utilizar los residuos como alternativa económica y ambientalmente sostenible en la fabricación de productos no estructurales, como ladrillos [6]. Investigaciones sobre la viruta de cuero resaltan su valor como agregado en la fabricación de materiales de construcción [8].

El uso de residuos del cuero no solo contribuye a reducir la acumulación de desechos, sino que también podría mejorar las características de los productos finales, como la capacidad de absorción acústica de los ladrillos [16]. Por lo tanto, se ha considerado de interés desarrollar ladrillos de arcilla modificados con la incorporación de viruta de cuero, y evaluar su capacidad de absorción acústica en comparación con la de los ladrillos de arcilla convencionales.

En esta investigación se elaboraron ladrillos de arcilla con la incorporación de viruta de cuero vacuno y ladrillos de arcilla convencionales, se determinó el nivel de absorción acústica en estructuras fabricadas con ambos tipos de ladrillo, y se realizó un análisis comparativo de la absorción acústica de los dos tipos de ladrillo.

II. METODOLOGÍA

A. Elaboración de los Ladrillos Modificados

Se recolectó viruta de cuero en una curtiembre de Arequipa, Perú, mientras que la arcilla se obtuvo de una ladrillera artesanal. Inicialmente, la viruta de cuero fue secada al aire libre durante 72 horas, y posteriormente se molió, obteniendo de este modo viruta de cuero pulverizada.

Para la fabricación de los ladrillos, se siguió un procedimiento artesanal utilizando moldes con una capacidad aproximada de 2 kg y dimensiones de 14 cm x 22 cm x 7 cm. La mezcla se preparó con 172.8 kg de arcilla y 7.2 kg de viruta de cuero en polvo, lo que representa el 4 % del peso total, siguiendo el método descrito por Hashem *et al.* [12]. La arcilla y la viruta de cuero en polvo se mezclaron homogéneamente con agua. Después de moldear los ladrillos, se dejaron secar durante 15 días y luego se hornearon a 1000 °C durante 72 horas, obteniendo un total de 90 ladrillos, los cuales se muestran en la Figura 1.

B. Ensayos Acústicos en Estructuras Fabricadas con Ladrillos Modificados

Se construyeron dos estructuras cerradas en forma de

paralelepípedo, con dimensiones de 80 cm de largo, 70 cm de ancho y 70 cm de alto, como se muestra en la Figura 2. Una de las estructuras fue fabricada con ladrillos modificados mediante la adición de polvo de viruta de cuero, mientras que la otra se construyó con ladrillos convencionales.

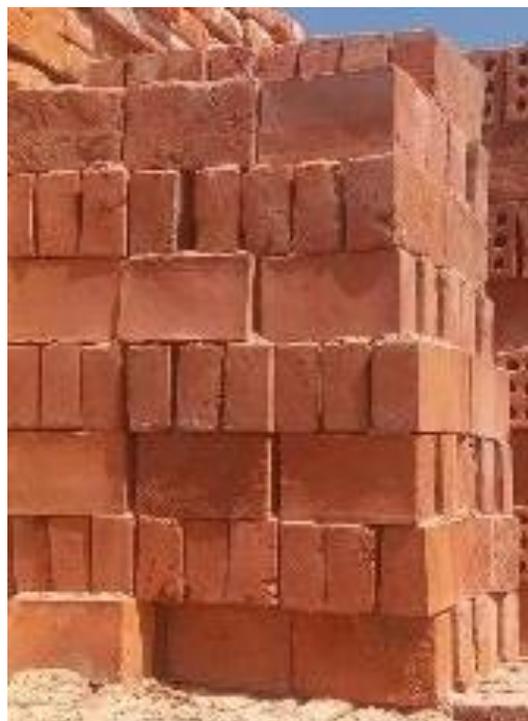


Fig. 1 Ladrillos elaborados con la incorporación de viruta de cuero.



Fig. 2 Vista en planta y frontal de la estructura fabricada con ladrillos.

Se seleccionaron tanto los ladrillos modificados como los convencionales para la construcción de las estructuras, utilizando 82 ladrillos en cada una. Como se muestra en las Figuras 3 y 4, la parte superior de ambas estructuras se cerró con un techo de arcilla y ladrillo. Además, en uno de los lados se dejó una abertura de 26 cm de ancho y 60 cm de alto, destinada a la inserción o extracción de la fuente de sonido o del instrumento de medición de la intensidad del sonido.

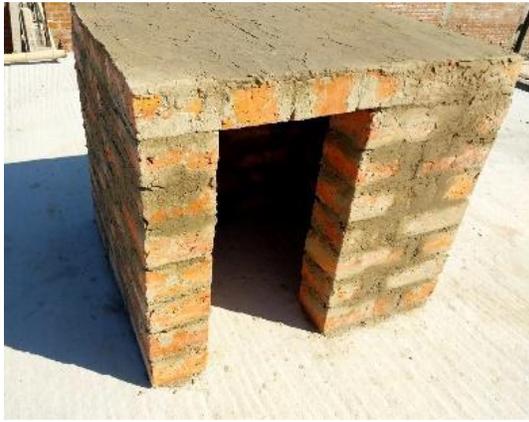


Fig. 3 Estructura construida con ladrillos modificados con la incorporación de viruta de cuero.



Fig. 4 Estructura construida con ladrillos convencionales.

Para realizar las mediciones, se empleó un sonómetro Larson Davis, modelo LxT1, con una incertidumbre de 0.3 dB.

Se llevaron a cabo tres tipos de ensayos acústicos en cada estructura, con 5 mediciones realizadas a intervalos de 5 segundos. En el primer ensayo, la fuente sonora se colocó en el punto medio dentro de la estructura, mientras que el sonómetro se situó en el exterior, tomando mediciones en cada lado de las paredes. En el segundo ensayo, el sonómetro se ubicó en el centro interno de la estructura y la fuente sonora en el exterior, frente a cada lado de las paredes. Finalmente, en el tercer ensayo, la fuente sonora se posicionó en el punto medio dentro de la estructura y el sonómetro a 1 metro de distancia de cada lado de las paredes.

Los ensayos acústicos se realizaron en un día con poco viento, con el fin de minimizar el efecto del aire sobre las mediciones.

C. Análisis Comparativo de la Absorción Acústica en las Estructuras Fabricadas con Ambos Tipos de Ladrillo

Se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos de las mediciones de ruido en ambas estructuras, con el objetivo de evaluar la absorción acústica de los ladrillos modificados con viruta de cuero en comparación con los ladrillos convencionales.

III. RESULTADOS

Los valores promedio del nivel de ruido obtenido en las mediciones de los tres ensayos realizados en los cuatro lados de las estructuras (frontal - puerta, lateral izquierdo, pared trasera y lateral derecho), tanto para los ladrillos modificados con viruta de cuero como para los ladrillos convencionales, se presentan en las Tablas I y II, respectivamente. Los resultados muestran que la intensidad promedio del sonido medida en los tres ensayos varía entre 58.9 y 75.3 dB para la estructura construida con ladrillos modificados con viruta de cuero, y entre 57.8 y 69.3 dB para la estructura fabricada con ladrillos convencionales.

TABLA I
NIVEL DE RUIDO PROMEDIO OBTENIDO EN LOS TRES ENSAYOS REALIZADOS EN LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA CON LADRILLOS MODIFICADOS CON VIRUTA DE CUERO

Ensayo	Frontal - puerta (dB)	Lateral izquierdo (dB)	Pared Trasera (dB)	Lateral Derecho (dB)
1	70.3 ± 2.3	66.2 ± 4.1	62.3 ± 3.9	63.8 ± 4.4
2	75.3 ± 7.7	68.8 ± 6.3	67.0 ± 4.9	63.8 ± 7.2
3	66.7 ± 3.5	64.0 ± 2.8	58.9 ± 5.2	62.3 ± 5.9

TABLA II
NIVEL DE RUIDO PROMEDIO OBTENIDO EN LOS TRES ENSAYOS REALIZADOS EN LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA CON LADRILLOS CONVENCIONALES

Ensayo	Frontal - puerta (dB)	Lateral izquierdo (dB)	Pared Trasera (dB)	Lateral Derecho (dB)
1	67.5 ± 3.7	64.1 ± 2.3	63.1 ± 3.2	66.6 ± 3.0
2	69.3 ± 7.0	67.0 ± 7.4	64.2 ± 6.2	65.7 ± 7.3
3	67.6 ± 6.2	61.7 ± 5.8	57.8 ± 6.9	62.6 ± 7.6

En la Figura 5 se presentan los resultados promedio del nivel de ruido medido en el primer ensayo realizado en las estructuras construidas con ladrillos convencionales y aquellos modificados con viruta de cuero. El gráfico muestra que en el lateral derecho de las estructuras se registró la mayor reducción del nivel de ruido en los ladrillos modificados, en comparación con los convencionales. Específicamente, en la estructura de ladrillos convencionales se midió una intensidad promedio de 66.6 dB, mientras que en la estructura modificada con viruta de cuero se obtuvo un promedio de 63.8 dB, lo que representa una disminución del 4.15 %. Sin embargo, al comparar los resultados en ambos tipos de estructuras, se observa que en dos lados (pared trasera y lateral derecho) se incrementa la absorción acústica en los ladrillos modificados, mientras que en los otros lados la estructura de ladrillos convencionales muestra una mayor absorción del sonido. No obstante, las diferencias en los resultados promedio son mínimas al considerar los márgenes de error mostrados en la Figura 5, lo que sugiere que la incorporación de un 4 % en peso de viruta de cuero no mejora significativamente la capacidad de absorción acústica de los ladrillos.

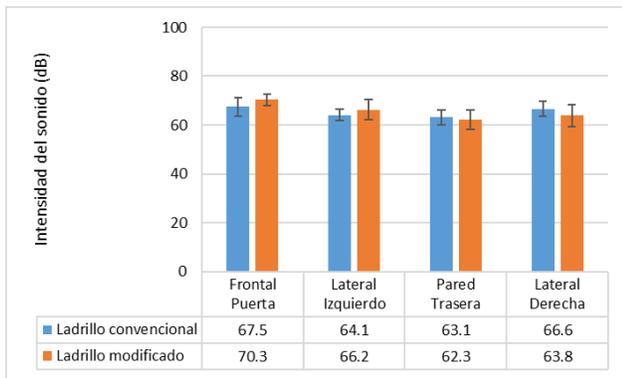


Fig. 5 Intensidades del sonido registradas en las mediciones del primer ensayo realizado en las estructuras fabricadas con ladrillos convencionales y modificados con viruta de cuero.

Las Figuras 6 y 7 muestran los resultados promedio del nivel de ruido medido en el segundo y tercer ensayo, respectivamente, realizados en las estructuras construidas con los dos tipos de ladrillos estudiados.

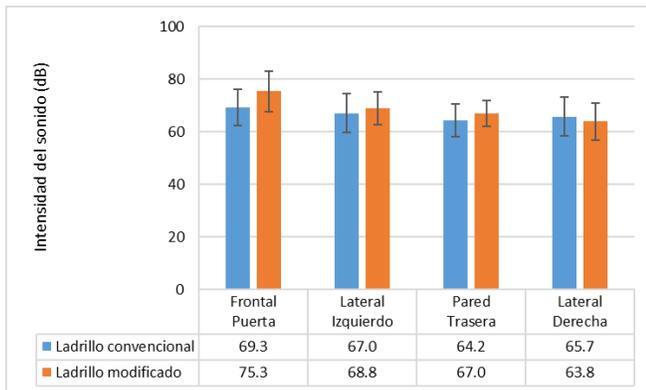


Fig. 6 Intensidades del sonido registradas en las mediciones del segundo ensayo realizado en las estructuras fabricadas con ladrillos convencionales y modificados con viruta de cuero.

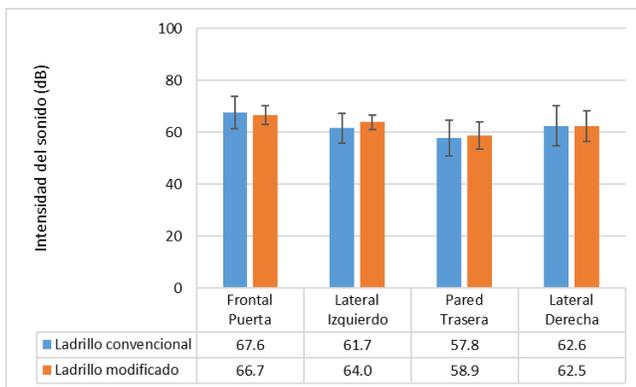


Fig. 7 Intensidades del sonido registradas en las mediciones del tercer ensayo realizado en las estructuras fabricadas con ladrillos convencionales y modificados con viruta de cuero.

En las Figuras 6 y 7 se observa un comportamiento similar al registrado en el primer ensayo, lo que confirma que no hay una mejora en la absorción acústica con la incorporación de viruta de cuero en el ladrillo. Además, al

comparar los resultados de los tres ensayos realizados, se encuentra que la intensidad del ruido es comparable en las tres condiciones consideradas, lo que sugiere que los resultados de las mediciones no dependen de si el sonómetro o la fuente de sonido se colocan en el interior de la estructura.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados revelaron que no hay una disminución significativa en la intensidad del ruido que indique una mejora en la absorción acústica como resultado de la incorporación de viruta de cuero en los ladrillos. Esto sugiere que los ladrillos modificados con un 4 % en peso de viruta de cuero no son adecuados como medios de absorción acústica. Sin embargo, es posible que la capacidad de absorción acústica mejore al combinar la viruta de cuero con otros agregados o residuos. Este enfoque fue explorado por Guevara Robalino [26], quien elaboró bloques de adobe con aserrín y poliestireno en proporciones de 0, 5, 10 y 15 % en su composición. Sus hallazgos indicaron que el muro fabricado con bloques de adobe que contenían un 15 % de aserrín y poliestireno logró el mayor aislamiento acústico, superando en un 17.6 % los resultados obtenidos con los otros muros.

Una alternativa para mejorar la capacidad de absorción acústica es aumentar la concentración de viruta de cuero en el ladrillo. No obstante, es crucial que los ladrillos mantengan una buena resistencia a la compresión. Se ha reportado que aquellos fabricados con más del 4 % de polvo de viruta de cuero presentan una disminución en su resistencia a la compresión [13].

Por otro lado, es importante considerar que el tamaño y las dimensiones en el diseño de las estructuras fabricadas con ladrillos pueden influir en la reducción de la intensidad del sonido. Maquera y Vera [27] señalan que se logra una mayor disminución del ruido a medida que aumentan las dimensiones de las barreras, lo que las hace más eficaces en la amortiguación del sonido.

En esta investigación, los resultados de las mediciones de la intensidad del sonido mostraron variaciones en los tres ensayos realizados. En el primer ensayo se registró la mayor disminución de la intensidad del sonido, alcanzando un 4.15 % en la zona lateral derecha de la estructura modificada. Este hallazgo coincide con lo reportado por Fernández, Carranza y Lozano [28] en su estudio sobre barreras acústicas con ecoladrillos.

Los errores en las mediciones realizadas en esta investigación sugieren la influencia de efectos externos que pueden estar afectando los resultados. No solo interviene la incertidumbre del instrumento de medición, sino también la atenuación del ruido, la cual puede atribuirse a factores ambientales como la temperatura, así como a la dirección y velocidad del viento. Además, las características y propiedades del material absorbente también juegan un papel crucial. Por ejemplo, Gómez *et al.* [29] reportaron que, al utilizar residuos de filtros de colillas de cigarrillos para la absorción acústica, la humedad afecta significativamente la

capacidad de absorción. Un ambiente saturado aumenta la masa de las colillas disgregadas; es decir, el tamaño de las fibras del material se incrementa con la humedad, lo que obstruye el paso de las ondas sonoras y reduce la absorción del sonido.

Por otro lado, Martos y Sánchez [30], en su investigación sobre la evaluación de las propiedades acústicas en el ladrillo recocho, demostraron que al aumentar el porcentaje de sustitución de un agregado en el volumen del ladrillo, también aumenta el porcentaje de porosidad, lo que a su vez incrementa el coeficiente de absorción acústica. En este sentido, los ladrillos modificados con un 4 % de viruta de cuero deben presentar un bajo grado de porosidad, lo que puede explicar la limitada capacidad de absorción acústica observada. Además, es importante considerar que las variaciones en el espesor y la densidad de un material también influyen en su absorción acústica, como lo reporta Tapia [31].

Según lo señalado por Hashem *et al.* [12], los ladrillos elaborados con la adición de viruta de cuero representan una alternativa sostenible que cumple con las características adecuadas para su uso en la construcción. Desde una perspectiva económica, la incorporación de un 4 % de polvo de viruta permite producir ladrillos aptos para la construcción, con un ahorro aproximado de USD 10.00 por cada 1000 unidades. Este resultado no solo es favorable desde el punto de vista económico, sino que también constituye una opción ecoamigable al aprovechar residuos de la industria del cuero.

V. CONCLUSIONES

Se desarrollaron ladrillos modificados con un 4 % de viruta de cuero en su composición, una concentración que asegura la resistencia a la compresión adecuada para su uso en la construcción. Las mediciones realizadas en los ensayos acústicos mostraron resultados similares en las dos estructuras fabricadas, lo que indica que la incorporación de un 4 % de viruta de cuero no mejora la capacidad de absorción acústica de los ladrillos.

Los errores de las mediciones realizadas sugieren que puede existir la influencia de factores externos en los resultados, lo que indica que en estudios futuros es necesario considerar variables adicionales que puedan influir sobre las mediciones de ruido y la capacidad de absorción acústica.

Aunque no se logró mejorar la capacidad de absorción acústica mediante la incorporación de viruta de cuero, el uso de estos residuos en la fabricación de ladrillos representa una alternativa valiosa para reducir la acumulación de desechos y, por ende, disminuir la contaminación ambiental generada por la industria de la marroquinería.

REFERENCIAS

[1] K. Naggari, M. Abadir, S. Amin, y M. Ahmed, "The Use of Dumpsite Solid Waste in the Production of Clay Bricks," *Int. J. Appl. Eng.*, vol. 15, no. 9, pp. 693–712, 2020.

[2] Y. Li, R. Guo, W. Lu, y D. Zhu, "Research progress on resource utilization of leather solid waste," *J. Leather Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–16, 2019.

[3] A. Huiman, "Los residuos peligrosos generados en la industria textil

peruana para el caso de la alta costura, fibra de alpaca y curtiembre," *Rev. del Inst. Investig. la Fac. Minas, Metal. y Ciencias Geográficas*, vol. 25, no. 49, pp. 120–130, 2022.

[4] K. Mamani Vnetura y C. Gutierrez Ccapa, "Diseño de un plan de producción limpia para una pequeña empresa productora de cueros en Arequipa," Trabajo de Fin de Grado, Univ. Continental, 2020.

[5] D. Anchatipan, "Actualidad de la reutilización y reciclaje de desechos provenientes de curtiembres, revisión en Ecuador y el mundo," Trabajo de Fin de Grado, Univ. Téc. Ambato, 2022.

[6] K. Ławinska, "Production of Agglomerates, Composite Materials, and Seed," *Materials (Basel)*, vol. 73, 2021.

[7] V. Muralidharan, S. Palanivel, y M. Balaraman, "Turning problem into possibility: A comprehensive review on leather solid waste intravalorization attempts for leather processing," *J. Clean. Prod.*, vol. 367, p. 133020, 2022.

[8] R. Bernal, D. Castañeda, K. Velandia, y J. Verdugo, "Analysis of Organic Solid Waste Mixtures Used in the Manufacture of Non-structural Ecological Bricks," *Rev. Ciencias Ambient.*, vol. 53, no. 1, pp. 23–43, 2019.

[9] M. Vidaurre, S. Pérez, A. Zuazua, y C. Martín, "From the leather industry to building sector: Exploration of potential applications of discarded solid wastes," *J. Clean. Prod.*, vol. 291, 2021.

[10] M. A. Paucar Samaniego, "Diseño estratégico para Industrias de Curtidos de Piel," Trabajo de Fin de Máster, Pont. Univ. Católica del Ecuador, 2021.

[11] E. Milena, "Usos y aplicaciones de los subproductos de la Industria del cuero," Trabajo de Fin de Grado, Univ. Nac. AD, 2020.

[12] A. Hashem *et al.*, "Leather shaving dust utilization in brick preparation: Solid waste management in tannery," *Constr. Build. Mater.*, vol. 400, p. 132769, 2023.

[13] S. Milu, A. Hashem, S. Payel, y A. Hasan, "Leather buffing dust in brick production: Solid waste management in tanneries," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, p. e01625, 2022.

[14] V. Deselnicu y R. Constantinescu, "Composite Structures Containing Leather Fiber S With," *Int. Conf. Adv. Mater. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 593–598, 2018.

[15] S. Velásquez, D. Giraldo, y N. Cardona, "Reciclaje de residuos de cuero: una revisión de estudios experimentales," *Inf. Técnico*, vol. 79, no. 2, p. 188, 2015.

[16] K. Köseoglu, H. Cengizler, L. Israil, y H. Polat, "Tannery wastewater sediments produced by clinoptilolite/polyacrylamide-aided flocculation as a clay additive in brick making," *J. Aust. Ceram. Soc.*, vol. 53, no. 2, pp. 719–731, 2017.

[17] E. Martínez y C. Buitrago, "Diseño ECO-MATERIAL para la construcción a partir de la viruta de cuero," *Business Law binus*, vol. 7, no. 2, pp. 33–46, 2020.

[18] H. Jiang, J. Wang, W. Zhang, L. Hu, y L. Mao, "Oxidation and reduction reactions of (Al/FexCr1-x)2O3 caused by CaO during thermal treatment of solid waste containing Cr," *Environ. Res.*, vol. 204, p. 112356, 2022.

[19] E. Mariscal Pina, "Estudio experimental con residuos de cuero obtenidos de la industria marroquinera para el desarrollo de materiales compuestos reciclados y nuevos productos," Trabajo de Fin de Máster, Univ. Pol. Catalunya, 2020.

[20] J. Palazuelos Arellano, "Soluciones acústicas con nuevos absorbentes acústicos fabricados con lana de oveja," Trabajo de Fin de Máster, Univ. Pol. de Valencia, 2018.

[21] F. Tardini, "Los biomateriales como camino alternativo en el área del diseño," *Cuad. del Cent. Estud. en Diseño y Comun. Ensayos*, no. 191, pp. 263–276, 2023.

[22] M. Villamizar Amado, "ECO-CHIP BLOCK Mejoramiento de vivienda popular a través de un material reciclado," Trabajo de Fin de Grado, Univ. de la Salle, 2020.

[23] S. Raut, R. Ralegaonkar, y S. Mandavgane, "Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 10, pp. 4037–4042, 2011.

[24] A. Juel, A. Hasan, A. Mizan, y A. Hashem, "Metals removal from thermally treated tannery sludge: A novel approach," *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.*, vol. 16, p. 100548, 2021.

- [25] D. Beshah, G. Tiruye, y Y. Mekonnen, "Characterization and recycling of textile sludge for energy-efficient brick production in Ethiopia," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 13, pp. 16273–16280, 2021.
- [26] J. J. Guevara Robalino, "Elaboración de bloques tradicionales incorporando material reciclado para la mejora del acondicionamiento térmico y acústico en viviendas rurales de Ecuador," Tesis Doctoral, Univ. Burgos, 2022.
- [27] N. U. Maquera Puma y V. C. M. Shiomara, "Uso de barreras acústicas para reducir la contaminación sonora en domicilios de Moquegua - Moquegua, 2023.," Trabajo de Fin de Grado, Univ. César Vallejo, 2023.
- [28] R. G. Fernández Mamani, E. S. Carranza Sánchez, y Y. T. Lozano Sulca, "Eficacia de barreras acústicas con ecoladrillos en la reducción del ruido producido por vehículos de carga pesada," vol. 3, no. 1, pp. 1–16, 2024.
- [29] V. Gómez Escobar, C. Moreno González, M. J. Arévalo Caballero, y A. M. Gata Jaramillo, "Initial Conditioning of Used Cigarette Filters for Their Recycling as Acoustical Absorber Materials," vol. 14, no. 15, pp. 1–11, 2021.
- [30] E. A. Martos Velasquez y E. A. Sánchez Tejada, "Evaluación de las propiedades acústicas del concreto utilizando ladrillo recocho triturado como agregado grueso," Trabajo de Fin de Grado, Univ. Piura, 2023.
- [31] D. F. Tapia Gavilanes, "Caracterización de materiales absorbentes y modelos matemáticos," Trabajo de Fin de Máster, Univ. Pol. Madrid, 2019.