

# Revalorización de residuos de cuero en tableros de partículas

## Revalorization of leather waste in particleboards

Presentación: 22/10/2023

### **Solange Nicole Aigner**

Departamento de Materiales Compuestos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
[saigner@inti.gov.ar](mailto:saigner@inti.gov.ar)

### **Francisco Daniel García**

Departamento de Materiales Compuestos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
Instituto de Calidad Industrial (INCALIN), Universidad de San Martín (UNSAM), Buenos Aires, Argentina.  
[fgarcia@inti.gov.ar](mailto:fgarcia@inti.gov.ar)

### **Alejandro Bacigalupe**

Departamento de Materiales Compuestos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
INTI, CONICET, Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
[abacigalupe@inti.gov.ar](mailto:abacigalupe@inti.gov.ar)

### **Mariano Escobar**

Departamento de Materiales Compuestos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
Instituto de Calidad Industrial (INCALIN), Universidad de San Martín (UNSAM), Buenos Aires, Argentina.  
[mescobar@inti.gov.ar](mailto:mescobar@inti.gov.ar)

### **Alfonsina Bonfranceschi Barros**

Departamento de Tecnología de la producción del Cuero y Calzado, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Camino Centenario e/505 y 508.M B. Gonnet, Buenos Aires, Argentina.  
[abonfranceschi@inti.gov.ar](mailto:abonfranceschi@inti.gov.ar)

### **Marcela Mansilla**

INTI, CONICET, Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Av. General Paz 5445, Buenos Aires, Argentina.  
[mmansilla@inti.gov.ar](mailto:mmansilla@inti.gov.ar)

### **Resumen**

El presente estudio tiene como objetivo investigar una posible alternativa para la revalorización de los residuos de cuero curtido al cromo. La necesidad de abordar esta cuestión surge debido a la problemática derivada de la acumulación de dichos desechos en rellenos sanitarios, lo cual tiene implicaciones significativas desde el punto de vista ambiental y sanitario. La alternativa propuesta consiste en la reutilización del cuero, mediante su incorporación en distintas proporciones en el proceso de fabricación de tableros de partículas. Con el fin de evaluar y caracterizar los paneles resultantes, se llevó a cabo un análisis de sus propiedades mecánicas y resistencia al agua. Este enfoque busca no solo abordar el problema de la acumulación de residuos de cuero, sino también encontrar un uso valioso para estos materiales en la industria, contribuyendo así a la sostenibilidad y al manejo responsable de los recursos.

**Palabras clave:** revalorización, tablero de partículas, cuero, material compuesto.

## Abstract

The present study investigates a possible alternative for the revalorization of chrome-tanned leather waste. The need arises due to the accumulation of waste in landfills, which has significant implications for the environmental and health sectors. The proposed alternative is the reutilization of leather by incorporating it in different proportions into the particleboard manufacturing process. To evaluate and characterize the resulting panels, their mechanical properties and water resistance were analyzed. In addition to addressing the issue of leather waste accumulation, this work also seeks an industrial application for these materials, contributing to sustainability and responsible resource management.

**Keywords:** revalorization, particleboards, leather, composite material.

## Introducción

La industria del cuero, una actividad arraigada a nivel mundial, ha sido testigo de un notable crecimiento en la producción de cuero vacuno en los últimos años (Jiang, 2016). Según datos proporcionados por la FAC (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura), la producción mundial de cuero vacuno ha experimentado un incremento significativo, pasando de 6 millones de toneladas en 1994 a 8 millones de toneladas en el año 2020. Esta dinámica de crecimiento se manifiesta principalmente en el continente americano, destacando en su desempeño los países tales como China, Estados Unidos, Brasil y Argentina (FAC, 2021).

No obstante, las empresas dedicadas a la confección de calzado enfrentan una problemática recurrente: la generación de residuos que constituyen aproximadamente el 30% de su producción total en peso, esencialmente en forma de recortes de cuero curtido al cromo (El-Sabbagh, 2010). Aunque el cromo presente en el cuero se encuentra en su forma trivalente, caracterizada por su baja toxicidad, existe el potencial riesgo de que, por medio de la acumulación, pueda resultar en un aumento de la concentración de este elemento por encima de los niveles aceptables (Swarnalatha, 2008). Es importante señalar que esto podría desencadenar la acumulación de cromo a lo largo de la cadena alimentaria, con posibles consecuencias en la salud en los organismos de niveles tróficos superiores, que podría manifestarse como trastornos metabólicos (Sharma, 2019). En contraste con su estado trivalente, el cromo hexavalente es reconocido como un carcinógeno humano (Zhitkovich, 2011). Aunque su presencia está regulada en la industria del cuero, existe la posibilidad de su generación bajo condiciones ambientales específicas, dando lugar a un problema ambiental de mayor envergadura (Burton, 2019) (Galán, 2008).

En vista de estas preocupaciones ambientales y sanitarias, resulta imperativo explorar alternativas más sostenibles y seguras para la gestión de los residuos de cuero, en vez de su confinamiento en vertederos sanitarios.

A partir de lo anteriormente mencionado, surge una propuesta que consiste en la integración de residuos de cuero curtido en tableros de partículas, siendo materiales compuestos por partículas de madera unidas mediante adhesivos. Estos paneles presentan una amplia gama de aplicaciones en la industria, dependiendo de las propiedades de los paneles y la sollicitación requerida según su posible aplicación (European Standard EN312:2004), siendo la fabricación de muebles la principal rama industrial.

El enfoque central de esta investigación radica en la evaluación de la viabilidad de reemplazar de forma parcial las partículas de madera en la fabricación de los tableros por residuos de cuero. Mediante el empleo de distintas fracciones de madera/cuero, se procede a analizar el impacto en las propiedades de los paneles al incluir cuero en su composición. Este efecto se evalúa mediante la caracterización de dichos tableros utilizando ensayos físicos normalizados.

## Desarrollo

### Materiales.

La materia prima empleada en la fabricación de los tableros consiste en partículas de madera derivadas de *Eucalyptus saligna*. Estas partículas se obtienen mediante el procesamiento de listones de madera que son sometidos a un proceso de inmersión en agua durante 48 horas. El propósito de esta inmersión es incrementar el contenido de humedad de los listones y mejorar su maleabilidad, lo que facilita la obtención de las partículas. Como resultado de este proceso, el contenido de humedad de los listones de madera se eleva aproximadamente a 60%. Luego se procede a su procesamiento en una máquina chipeadora seguida de un molino de martillos que tiene a su salida una malla de 3 mm. Se obtienen así las partículas de la Figura 1 a la derecha.

En lo que respecta a la obtención de cuero molido, se procedió al procesamiento de recortes mediante la fragmentación para obtener primeramente trozos de aproximadamente 3 cm<sup>2</sup> de superficie. Posteriormente, estos trozos fueron sometidos a un proceso de trituración utilizando un molino equipado con cuchillas y un tamiz con una malla de 4 mm de apertura. Esta operación permitió la reducción controlada de las partículas de cuero, obteniendo así un tamaño uniforme y adecuado para su utilización (ver Figura 1 a la izquierda). Por otro lado, el adhesivo empleado correspondió a una resina de urea formaldehído, proporcionada por Jucarbe S.A.I.C. bajo la denominación de COLADUR 65% (con un contenido de sólidos de 65 %), presentando un contenido de formaldehído libre inferior al 3,5%. La viscosidad de la resina a 1000 s<sup>-1</sup> es de 60 mPa.s y para su utilización, el contenido de sólidos se redujo con agua al 50%.



Figura 1. Residuo de cuero molido (izquierda) y partículas de madera (derecha) empleados en la fabricación de tableros.

### Elaboración de los tableros.

Luego de la obtención de las partículas de madera y cuero, se procede al mezclado de los componentes, que consiste en la combinación de estas partículas en diferentes relaciones máxicas: 100/0, 90/10, 80/20 y 70/30 de madera/cuero. Este proceso se lleva a cabo en un tambor rotatorio. Luego, se dispersa el adhesivo en una relación de 12 g de urea formaldehído por cada 100 g de la mezcla inicial, que comprende tanto la madera como el cuero. Este valor corresponde a la práctica convencional empleado en la industria para la elaboración de tableros.

En la etapa siguiente, se realiza un pre-prensado mediante la aplicación de una carga de 9,81 MPa durante 1 minuto en moldes de aproximadamente 40 cm x 40 cm, a temperatura ambiente.

Por último, el proceso de curado se efectúa a una temperatura de 160 °C durante un periodo de 9 minutos, aplicando presión de manera escalonada y descendente cada 3 minutos, comenzando con 9,81 MPa, seguido de 4,90 MPa y

finalmente de 2,45 MPa. Se debe señalar que el espesor y densidad teóricos de los tableros son de 9 mm y 700 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Se obtienen así los tableros de la Figura 2.



Figura 2. Tableros de partículas fabricados con madera/cuero: A) 100/0; B) 90/10; C) 80/20 y D) 70/30.

#### Caracterización de los tableros.

Los tableros obtenidos fueron sometidos a un proceso de caracterización, evaluando las propiedades mecánicas y la resistencia al agua. Para este propósito, se extrajeron seis probetas de cada tablero, con dimensiones de 266 mm x 76 mm x 9 mm, destinadas al ensayo de flexión estática en tres puntos, así como cinco probetas adicionales de 50 mm x 50 mm x 9 mm para realizar el ensayo de tracción perpendicular a las caras. Estas mediciones se realizaron utilizando una máquina de ensayos universal INSTRON 5982 (equipada con celda de 5 kN y 30 kN), siguiendo las directrices estandarizadas de la norma ASTM D1037-12 (ASTM D1037-12, 2020).

A través del ensayo de flexión estática en tres puntos (Figura 3), se obtuvieron los valores correspondientes al módulo de elasticidad (MOE, Modulus of Elasticity) y al módulo de ruptura (MOR, Modulus of Rupture), de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$MOE = 3P_1L^3/4bd^3y_1 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$MOR = 3PL/2bd^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo;

P: carga máxima (N)

L: distancia entre puntos de apoyo (mm)

b: largo de la probeta (mm)

d: espesor de la probeta (mm)

P<sub>1</sub>: límite proporcional (N)

y<sub>1</sub>: centro de deflexión a la carga límite proporcional (mm)

En cuanto al ensayo de tracción perpendicular a las caras (Figura 3), se determinó la cohesión interna (IB, Internal Bonding) mediante el cociente entre la carga máxima (N) y el área de la probeta (mm<sup>2</sup>).

Con respecto a los ensayos de resistencia al agua, se calculó el hinchamiento (TS, Thickness Swelling) y la absorción de agua (WA, Water Absorption) en base a las mediciones de espesor y masa, respectivamente, realizadas en cinco piezas de 50 mm x 50 mm x 9 mm. Dichos cálculos se llevaron a cabo como el cociente entre las variaciones registradas a las 2 y 24 horas respecto a los valores iniciales. En todos los casos, se reporta la incerteza correspondiente como la desviación estándar.



Figura 3. Ensayos mecánicos de los tableros de partículas. Tracción perpendicular a las caras (izq.); Flexión a tres puntos (der.).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos (propiedades mecánicas, densidad y resistencia al agua) fueron comparados mediante el análisis de varianza (ANOVA). Mediante la prueba de Turkey se evaluaron los valores medios, con un nivel de significancia menor a 0,05 empleando el software OriginPro 8.

### Resultados.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de densidad y las propiedades mecánicas. Se puede apreciar de manera general que la inclusión de cuero en la composición del tablero conlleva una disminución en sus propiedades. Esta observación coincide con las tendencias reportadas por autores previos, por lo que es un comportamiento esperado en este contexto (Kibet, 2022) (Oliveira, 2021).

El ensayo de flexión en 3 puntos no presenta variaciones significativas hasta el agregado de un 20% de cuero, observando que en la relación de 70/30 disminuye drásticamente el valor de MOR y MOE. En cuanto a la densidad, se aprecia la misma tendencia. En términos generales y con fines comparativos, se puede concluir que el empleo de un 20% de cuero en los tableros de partículas no afecta de manera sustancial las propiedades de los mismos.

Madera/cuero	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	MOR [MPa]	MOE [MPa]	IB [MPa]
100/0	693 ± 43 a	8,1 ± 1,9 a	1679 ± 190 a	1,22 ± 0,27 a
90/10	695 ± 25 a	8,0 ± 0,9 a	1301 ± 167 b	0,46 ± 0,14 b
80/20	694 ± 33 a	7,0 ± 1,9 a	1161 ± 207 b	0,73 ± 0,16 b
70/30	630 ± 44 b	3,4 ± 0,7 b	450 ± 125 c	0,20 ± 0,05 c

Tabla 1. Resultados de densidad y propiedades mecánicas.

Con respecto al ensayo de resistencia al agua, los resultados se pueden observar en la Tabla 2. La incorporación de cuero en los tableros incrementa los valores de absorción de agua, tanto a las 2 horas como a las 24 horas. Esta tendencia se manifiesta de manera más notoria en el caso del tablero 70/30 madera/cuero. En lo que concierne al hinchamiento (TS), no se aprecian diferencias significativas, en contraposición a los resultados de absorción de agua. Es relevante señalar que estas observaciones pueden ser atribuidas a las diferencias presentes entre las densidades de los tableros, ya que en los huecos presentes puede alojarse el agua, aumentando la absorción, pero no necesariamente el hinchamiento.

Madera/cuero	WA [%]		TS [%]	
	2 h	24 h	2 h	24 h
100/0	25,1 ± 4,2 a	56,4 ± 5,9 a	11,0 ± 1,3 a	20,7 ± 0,1 a
90/10	36,1 ± 11,6 ab	60,6 ± 12,0 a	9,9 ± 1,3 a	15,9 ± 1,5 b
80/20	44,6 ± 8,8 b	61,0 ± 10,4 a	9,5 ± 1,3 a	14,1 ± 2,1 b
70/30	75,0 ± 8,3 c	87,3 ± 7,5 b	10,0 ± 2,7 a	16,5 ± 0,8 b

Tabla 2. Resultados de resistencia al agua a 2h y 24h.

## Conclusiones

Aunque se observó una disminución de las propiedades mecánicas en los tableros ante la incorporación de cuero, se destaca que no se han evidenciado diferencias significativas en los tableros con un porcentaje de hasta 20%. Este patrón se refleja también en la resistencia al agua, donde la disminución en las propiedades es más evidente en el tablero con 30% de cuero en la composición. No obstante, en lo que respecta al hinchamiento, todas las muestras presentaron resultados similares en hinchamiento, indicando una buena estabilidad dimensional. Sin embargo, hay un incremento en la absorción de agua a mayor contenido de cuero. Este efecto podría deberse a la diferencia de densidades presentes entre los tableros, ya que una mayor presencia de huecos en el material permite una mayor absorción de agua.

Como conclusión, la incorporación de partículas de cuero curtido al cromo, tratándose de un residuo industrial, económico y con alto impacto ambiental, en tableros de partículas brinda una posible alternativa ante la problemática generada por su disposición en rellenos sanitarios.

## Referencias

- ASTM D1037-12. (2020). *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*.
- Burton, E. (2019). Chromium (VI) formation via heating of Cr (III)- Fe (III)-(oxy) hydroxides: A pathway for fire-induced soil pollution. *Chemosphere*, 440-444.
- El-Sabbagh, S. H. (2010). Recycling of Chrome- Tanned Leather Waste in Acrylonitrile Butadiene Rubber. *Wiley Online Library*.
- European Standard EN312:2004. (s.f.). *Particleboards. Specifications*.
- FAC. (2021). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Galán, E. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla*, 48-60.

- Jiang, H. (2016). The status and developments of leather solid waste treatment: A mini-review. *Waste Management & Research*, 399-408.
- Kibet, T. (2022). Mechanical Properties of particleboard made from leather shavings and waste papers. *Congent Engineering* .
- Oliveira, R. C. (2021). Influence of leather fiber on Modulus of Elasticity in Bending Test and of Bend Strength of Particleboards. *Materials Research*.
- Sharma, A. (2019). Chromium Bioaccumulation and Its Impacts on Plants: An Overview. *Plants*, 100-117.
- Swarnalatha, S. (2008). Safe disposal of toxic chrome buffing dust generated from leather industries. *Journal of Hazardous Materials* , 290-299.
- Zhitkovich. (2011). Chromium in Drinking Water: Sources, Metabolism, and Cancer Risks. *Chemical Research in Toxicology*, 1617-1629.