

Extracción y aplicación de taninos de la almendra de mango (*Mangifera indica*) como curtiente para la piel ovina Santa Inés (*Ovis aries*)

Extraction and application of tannins from mango seed (*Mangifera indica*) as tanning agent for Santa Inés Sheepskin (*Ovis aries*)

Hector J. Paz-Díaz¹ Cristian G. Palencia-Blanco² Mónica M. Pacheco-Valderrama¹
Fabián A. Rico-Suárez¹

¹Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ, Grupo de investigación en Innovación, Desarrollo Tecnológico y Competitividad en Sistemas de Producción Agroindustrial. Barrancabermeja, Colombia.

²Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ, Grupo de investigación en Cultivos Tropicales. Barrancabermeja, Colombia.

Resumen

Este proyecto se enfocó en la curtición de pieles ovinas (*Ovis aries*) a partir de los taninos obtenidos de la almendra de mango (*Mangifera indica*), para evaluar el potencial de este subproducto mediante el aprovechamiento del mismo. Para ello, se realizaron extracciones de taninos con soluciones acuosas de etanol-agua en concentraciones de 70%-30% y 50%-50% y se cuantificaron mediante el método Folin Ciocalteu utilizando ácido gálico como patrón. Se evaluó la capacidad de curtido en la piel ovina mediante las propiedades físicas del cuero. Se obtuvo que la mayor concentración de equivalentes de ácido gálico (GAE) fue para la extracción con etanol-agua al 50%-50% con una concentración promedio de 1,14 mg GAE/g. A partir de esto, se realizó el proceso de curtido a la piel de ovino donde se determinaron las propiedades físico-mecánicas del cuero como resistencia a la tracción con valores obtenidos de 12,7 MPa para la concentración de Etanol-Agua al 50%-50% y 11,3 MPa para la concentración de la relación 70%-30%; porcentaje de elongación con valores de 11,7 N y 17,7 N; resistencia al desgarre con valores de 41,9 N y 58,0 N; temperatura de contracción 61°C y 60°C; distensión de 13,22 mm y 10,68 mm y rotura de 37,47 daN y 48,39 daN respectivamente. Finalmente, los cueros curtidos con taninos cumplieron con 5 de las 6 pruebas analizadas según las normas UNE-EN ISO, por lo que el extracto de taninos de la almendra de mango se muestra como potencial sustituto a las sales de cromo llegando a contribuir a una industria más amigable con el medio ambiente y a obtener cueros de calidad a partir de la piel ovina.

Abstract

This research focused on the tanning of sheepskins (*Ovis aries*) using tannins extracted from mango kernels (*Mangifera indica*) to assess the potential of this byproduct. Tannin extractions were conducted using ethanol-water solutions at concentrations of 70%-30% and 50%-50%. Quantification was performed via the Folin-Ciocalteu method using gallic acid as a standard. The tanning ability on sheepskin was evaluated through the leather's physical properties. The highest concentration of gallic acid equivalents (GAE) was obtained from the ethanol-water extraction at 50%-50%, with an average concentration of 110,1 mg GAE/g. Subsequently, the tanning process was applied to sheepskin, and the physical-mechanical properties of the leather were determined. Tensile strength values obtained were 12,7 MPa for the 50%-50% ethanol-water concentration and 11,3 MPa for the 70%-30% ratio. Elongation percentages were 11,7 N and 17,7 N, tear resistance values were 41,9 N and 58,0 N, shrinkage temperatures were 61°C and 60°C, distension measurements were 13,2 mm and 10,6 mm, and breakage forces were 37,4 daN and 48,3 daN respectively. Ultimately, the tanned leathers with tannins met 5 out of 6 analyzed tests according to UNE-EN ISO standards. Hence, the tannin extract from mango kernels demonstrates potential as a substitute for chromium salts, thereby favoring both environmental sustainability and the production of quality leather from sheepskin.

Palabras clave: ácido gálico, Distensión, Porcentaje de elongación, Resistencia al desgarre, Temperatura de contracción.

Keywords: distension, Elongation percentage, Galic acid, Tear resistance, Shrinkage temperature.

¿Cómo citar?

Paz-Díaz, H.J., Palencia-Blanco, C.G., Pacheco-Valderrama, M.M., Rico-Suárez, F.A. Extraction and application of tannins from mango seed (*Mangifera indica*) as tanning agent for Santa Inés Sheepskin (*Ovis aries*). Ingeniería y Competitividad, 2024, 26(1) e-20813275.

<https://doi.org/10.25100/iyv.v26i1.13275>

Recibido: 11-10-23

Aceptado: 02-22-2024

Correspondencia:

cristian.palencia@unipaz.edu.co

Este trabajo está licenciado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual4.0.



Conflicto de intereses:

Ninguno declarado

OPEN  ACCESS

¿Por qué se llevó a cabo?

La investigación se realizó debido a la identificación de la urgente necesidad de explorar alternativas sustentables y amigables con el medio ambiente para el proceso de curtido del cuero, especialmente en especies menores como la piel de oveja Santa Inés. Por ello, se enfatizó la creciente preocupación por el impacto ambiental negativo asociado a los métodos tradicionales de curtido, que muchas veces implican el uso de productos químicos sintéticos y generan residuos tóxicos. El enfoque en la extracción y aplicación de taninos de la semilla de mango se justifica no solo por su potencial como alternativa más ecológica, sino también por su capacidad para aprovechar de manera integral los subproductos del mango y los desechos de la piel. Esto no sólo reduce la generación de residuos y la contaminación ambiental sino que también promueve la eficiencia en el uso de los recursos agrícolas y ganaderos. Además de abordar la necesidad inmediata de métodos de bronceado más sostenibles, esta investigación también pretende generar impactos positivos a largo plazo en múltiples niveles. Desde reducir la dependencia de productos químicos nocivos hasta promover prácticas agrícolas y ganaderas más responsables y crear oportunidades económicas para las comunidades locales que utilizan subproductos, esta investigación se posiciona como un paso hacia una industria del cuero más ética, sostenible y socialmente responsable.

¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

El estudio arrojó varios hallazgos dignos de mención. En primer lugar, la investigación identificó la concentración óptima de disolvente para la extracción de taninos de las semillas de mango como una proporción de etanol-agua del 50%:50%. Esto arrojó un promedio de 110,1 mg de EAG/g, lo que indica una alta concentración de compuestos fenólicos, que son cruciales para procesos de bronceado eficaces. La investigación reveló que los taninos extraídos de las semillas de mango presentan una alternativa sostenible y prometedora para el curtido vegetal en la producción de cuero de especies menores, particularmente en cabras. Este descubrimiento subraya el potencial de las prácticas ecológicas dentro de la industria del cuero. Además, las pruebas físico-mecánicas realizadas en el cuero arrojaron resultados favorables en múltiples parámetros, incluida la resistencia a la tracción, el porcentaje de alargamiento, la resistencia al desgarro, la distensión y la rotura. Estos hallazgos indican la viabilidad y durabilidad del cuero tratado con taninos de semillas de mango. Sin embargo, es importante señalar que la temperatura de contracción del cuero cayó por debajo de los 70°C, lo que sugiere la necesidad de mejorar los procesos operativos, particularmente en el decapado. Abordar este problema podría mejorar la calidad general y la aplicabilidad de los taninos de las semillas de mango en la producción de cuero.

¿Qué aportan estos resultados?

Los resultados ofrecen una alternativa sostenible al curtido del cuero mediante la extracción de taninos de la semilla de mango, lo que proporciona una opción renovable y respetuosa con el medio ambiente. Esto no sólo reduce la dependencia de productos químicos sintéticos, sino que también contribuye significativamente a reducir la huella ambiental de la industria del cuero, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizando la contaminación del agua y el suelo. Además, el uso de taninos de semillas de mango promueve la sostenibilidad en toda la cadena de suministro del cuero, desde la producción agrícola hasta la fabricación de productos de cuero, lo que puede atraer a consumidores conscientes del medio ambiente y promover prácticas más sostenibles en la industria. Estos resultados también abren nuevas oportunidades para la innovación y el desarrollo en la industria del cuero. La adopción de prácticas más sostenibles no sólo aumenta la eficiencia en los procesos de producción, sino que también podría conducir a la creación de nuevos productos de cuero o la exploración de nuevos mercados para subproductos. Además, el beneficio económico derivado de la implementación de estas prácticas podría extenderse más allá de las empresas, beneficiando a las comunidades locales al crear empleos y promover el desarrollo económico en áreas rurales. Destaca áreas donde la optimización operativa puede conducir a ahorros de energía. Esta información puede guiar la toma de decisiones y la asignación de recursos para mejorar la eficiencia general.



Graphical Abstract

Introducción

La curtición es el proceso mediante el cual se convierten las pieles de los animales en cuero (1,2) ofreciendo como principal característica la flexibilidad e inmunidad al ataque bacteriano (3). Actualmente, el proceso de curtición convencional utiliza el cromo como insumo principal, representando entre el 85-90% de la fabricación de cuero en cuanto a su uso (4,5,6). Esta implementación se debe a su eficiencia, versatilidad, disponibilidad y precio relativamente económico (7) y, en consecuencia, lo hace acreedor de uno de los principales contaminantes de la industria curtiembre, generando considerablemente el deterioro de los ecosistemas y la salud humana (3, 8). Por este motivo, existe una tendencia del mercado hacia la sustitución del cromo por productos más aceptables ambientalmente (9, 10). Se tiene como alternativa el curtido vegetal que es un proceso de curtido derivado de la obtención de taninos derivados de las plantas, hojas, madera, corteza, ramas, semillas, raíces o frutos (10, 11, 12). Esta opción proporciona menos contaminación ambiental al generar residuos biodegradables que pueden ser utilizados en la producción de fertilizantes (13), y le ofrece al cuero mayor estabilidad en las propiedades de moldeado, resistencia al desgaste, permeabilidad al aire y solidez (9). Los taninos se pueden extraer con diferentes solventes como agua, etanol, acetona y metanol, o mezclas de ellos en diversas proporciones, siendo el agua el solvente más económico (14).

Teniendo en cuenta estas investigaciones se tiene como objeto de estudio la semilla del mango (*Mangifera indica* L.) como portador de taninos, que potencialmente puede ser aplicado en el proceso de curtido (7). Cabe resaltar, que el mango es la segunda fruta tropical más comercializada a nivel mundial y la quinta en términos de producción (15). En Colombia, esta especie frutícola tropical originaria de la India es considerada como uno de los principales productos agrícolas de la región del Magdalena Medio y Santander debido a su capacidad de adaptación (16). Sin embargo, los residuos asociados a este cultivo principalmente son las cáscaras y las semillas, que constituyen del 20% al 60% de la masa total del fruto (15), por esta razón, diversos investigadores proceden a darle un valor agregado y un uso sostenible para la curtición y extracción de taninos (7), esto debido a que se ha demostrado que la semilla de mango es una buena fuente de polifenoles (15, 16, 17), fuente esencial para la curtición vegetal.) Por lo tanto, la extracción con solventes es la técnica comúnmente utilizada para obtener extractos polifenólicos. Los solventes más empleados incluyen metanol, etanol, acetona, acetato de etilo, diclorometano, hexano, isopropanol y acetonitrilo (18); no obstante, las mezclas de etanol o acetona con agua (entre 50% y 99,5%) son los extractos más utilizados para la semilla del mango (17).

Por otra parte, la producción de ovinos en el país ha sido tradicionalmente marginal y de naturaleza artesanal, con producción regionalizada donde el consumo es de carácter cultural (19), desarrollándose principalmente productos de tipo artesanal y comercialización de tipo informal (20), en la cual se destaca la producción de carne, siendo parte de la subsistencia de las familias en las zonas rurales (20, 21). Las principales razas de ovinos son la Katahdin, Santa Inés, Pelibuey, Dorset, Dorper, Hampshire, las cuales son utilizadas por poseer mejores rendimientos productivos en comparación con los animales criollos (22). Si bien existe una producción ovina en crecimiento, aún existen varios desafíos por superar, como la mala gestión por parte de los productores, el nivel de formación de muchos criadores de ovejas, la baja inversión en investigación, el desarrollo de nuevos productos y la falta de capacitación adecuada, esto aunado a infraestructura escasa e inadecuada para su sacrificio (19). Esta situación trae consigo un nivel tecnológico deficiente en cuanto al manejo de la conservación y almacenamiento de las pieles (21).

Dicho lo anterior, la importancia de los ovinos en el sector agroindustrial puede estar determinado para una potencial aplicación en las industrias curtiembres, puesto que éstas son las encargadas de tratar pieles animales (23), para evitar la putrefacción de las mismas. Además, diversos estudios indican que los cueros ovinos pueden ser utilizados para la fabricación de guantes, zapatos, bolsos, alfombras (24, 25, 26), sin embargo, es evidente que esta industria por el uso de las sales de cromo tiene consecuencias ambientales significativas (12), especialmente, por los grandes volúmenes de agua con desechos orgánicos y químicos, que son vertidos a los cuerpos de agua (6).

Por lo tanto, en esta investigación se llevó a cabo la extracción y cuantificación de taninos presentes en la semilla del mango (*Mangifera indica* L.) para posteriormente utilizarlo como potencial curtiente en la piel ovina de la raza Santa Inés, con el fin de generar alternativas sostenibles de aprovechamiento y generación de valor agregado a los subproductos y residuos agropecuarios del territorio del Magdalena Medio Santandereano.

Metodología

Condiciones ambientales y localización geográfica del proyecto

La investigación referente al proceso de extracción y cuantificación del tanino se desarrolló en el Laboratorio de Ciencias del Centro de Investigación Santa Lucía del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), ubicado a 14 km de Barrancabermeja, Colombia. El proceso de curtición de la piel ovina se realizó en la Unidad Académica Plantas Agroindustriales ubicada en el barrio Santa Bárbara en Barrancabermeja, Colombia, con condiciones ambientales, altura de 86 msnm, temperatura de 32°C y humedad relativa del 82 %.

Materia prima y reactivos

Se utilizó la semilla del mango (*Mangifera indica* L.), para este fin se recolectó 13000 gramos de fruta (86 mangos) de manera silvestre en el corregimiento el Llanito del distrito de Barrancabermeja como principal fuente de taninos vegetales y para el proceso de curtido se adquirieron dos pieles ovinas de la raza Santa Inés (*Ovis aries*) provenientes de la Finca el Quinal del Tesoro ubicada en la vereda El 27 del municipio de Carmen del Chucuri (Colombia), cada piel pesó alrededor de 4,6 kilos. Se aplicó etanol de grado analítico (70%) como solventes de extracción de taninos vegetales. En la cuantificación de taninos se utilizó ácido gálico estándar. Para el proceso de curtición se utilizó cloruro de sodio (NaCl) con una pureza del 99%, ácido sulfúrico al 98 %, formaldehído (3%), aceite de ricino; todos en grado analítico.

Pretratamiento

Se eligieron los frutos de mango en estado de madurez, y posteriormente se procedió a despulpar la fruta de manera manual con el fin de liberar la almendra entera, la cual estaba libre de defectos y hongos visibles. Se tomaron en total 86 semillas con un peso total de 2150 gramos, que posteriormente fueron seleccionadas y secadas en un horno marca Memmert referencia UN55 a 50°C durante 48 horas hasta lograr un porcentaje de humedad del 11,53% (16). Después, se realizó la molienda de las semillas secas en el triturador marca Trapp referencia JTRF400, obteniendo una harina con un tamaño de partícula de aproximadamente 1 mm utilizando un tamiz de 20 mesh.

Extracción de taninos vegetales

Para la extracción de taninos vegetales presentes en la semilla del mango, se empleó la metodología descrita por Paz-Díaz et al. (2), Basantes Basantes et al. (3) y Palencia-

Blanco et al. (27) con algunas modificaciones. Se pesaron 30 g de harina de almendra de mango y se diluyeron en 150 mL de solución extractora variando el volumen 70% Etanol / 30% agua y 50% Etanol / 50% agua, realizándose tres (3) réplicas por cada experimento. Consecutivamente, las soluciones se dejaron en agitación constante durante 15 minutos a 60°C, luego en reposo y en ausencia de luz durante de 4 días. Posterior a esto, el líquido sobrenadante obtenido, se retiró y se filtró al vacío con papel Whatman N°40 con el fin de purificar la muestra. Por último, las soluciones se rotoevaporaron en un rotoevaporador marca IKA RV 10 a una presión de 175 mbar, 100 rpm y una temperatura de 60°C durante 20 minutos con el fin de separar los solventes (etanol-agua) y obtener el extracto de tanino que se almacenó a 4°C.

Análisis cualitativo de taninos vegetales

Se adicionaron 2 gotas de solución de cloruro férrico al 5% en 1 mL de la muestra extraída y se dejó reposar por 5 min. Luego, se aplicaron gotas de las muestras extraídas sobre un algodón, se procederá a tomar lectura por medio la formación del verde oscuro, según lo investigado por diversos autores (7, 12, 28).

Análisis cuantitativo de taninos vegetales

El contenido de polifenoles totales se cuantificó según la metodología descrita por Palencia-Blanco et al. (27), y Priscila et al. (29). En resumen, la concentración se obtuvo por medio de la técnica de espectrofotometría UV-Vis, en el cual se diluyeron los extractos 1:10 y se realizó la lectura directa de la absorbancia a 280 nm, usando agua destilada como blanco. Se construyó una curva de calibración usando ácido gálico, se preparó 0,25, 0.5, 2, 4 y 5 ml en un balón de 10 ml y se aforó con agua destilada para obtener concentraciones de 5, 10, 20 y 40 ppm. Finalmente, se determinó el contenido de taninos totales relacionando con la curva de calibración obtenida y se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por g de muestra (mg TAE/g). Los espectros UV-Vis y las medidas cuantitativas se registraron en el equipo Espectrofotómetro UV/Vis marca Thermo Scientific modelo Genesys 10 S.

Proceso de Curtición del ovino

En la preparación de la piel para la curtición, se utilizaron dos pieles crudas con longitudes promedio de 1,3 metros de largo y un ancho de 1,1 metro, previamente lavadas y descarnadas, cada piel de manera independiente se sumergió en 3 L de solución de NaCl 2%, esto con el fin de disolver algunas proteínas globulares y evitar el posterior hinchamiento. Luego, se enjuagaron con agua y se eliminó manualmente la grasa. Seguidamente, se agregó a cada piel 3 L de agua y se adicionó 1 mL de ácido sulfúrico H_2SO_4 al 10% (%p/v), se dejó durante 60 minutos para romper las fibras de colágeno para posteriormente adicionar 10 mL de formaldehído al 3% para fijar el pelo en la piel. Pasado el tiempo, las pieles se enjuagaron con abundante agua para eliminar el ácido y el formaldehído, y se eliminó la epidermis de la piel (2, 30). Para el curtido, las pieles se sumergieron en 3 L de solución de tanino (20 mL de extracto de tanino en 1 L de agua, correspondiendo a los mL de extracto de taninos provenientes de la extracción de las concentraciones 50/50 y 70/30 %v/v) durante 3 días, agitándose dos veces al día para una mayor fijación del tanino en la piel. La piel curtida se introdujo en una solución con proporciones de 90% agua y 10% de aceite ricino, con una mezcla de 50g de detergente por cada litro de solución preparada. El nutrido se hace masajeando la mezcla de la solución de aceite por el lado de la flor y del descarne hasta que sea absorbida totalmente. Por último, las pieles curtidas se dejan bajo la sombra para eliminar la humedad de la piel y dejar que el curtiente fije más en las fibras del colágeno (2, 27).

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas

Se determinó la resistencia a la tracción, resistencia al desgarre y el porcentaje de elongación mediante un dinamómetro marca Muver Modelo 5053-5, donde se registró la fuerza máxima alcanzada hasta su rotura (NTC-ISO 3376:2007; NTC-ISO 3377-2:2006). Para la determinación de la distensión y resistencia de la capa de la flor en el ensayo de estallido con esfera se utilizó un lastómetro marca GESTER GT-KC37A. Por último, se determinó la temperatura de contracción por medio de la cámara climática marca Binder modelo KBF -S-115. Los valores de las propiedades físico-mecánicas fueron evaluadas en los dos sentidos, longitudinales (paralelo al espinazo) y transversal (perpendicular al espinazo) del cuero ovino de la raza Santa Inés (NTC 1042:1998; NTC 4683:1999). Estos parámetros se utilizaron para evaluar la capacidad del cuero con el fin de resistir las tensiones multidireccionales a que se encuentra sometido en sus usos prácticos (31).

Análisis estadístico

Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los datos se expresaron como medias \pm desviaciones estándar. Se aplicó análisis ANOVA y prueba de Tukey para la concentración óptima de taninos y análisis de las pruebas físico-mecánicas del cuero curtido, esto con el fin de determinar la significancia de los resultados. El estudio estadístico se realizó con el software TIBCO Statistica 13,5 Desktop Versión 1,35.

Resultados y discusión

Análisis cualitativo de taninos

En el proceso de extracción se utilizó como solvente el etanol para la extracción y concentración de taninos. Los estudios mostraron que las dos concentraciones de etanol (70% Etanol / 30% agua y 50% Etanol / 50% agua) son ideales para la extracción de taninos, dando una coloración verde oscuro en el precipitado de la solución con almendra de mango (7), lo cual sugiere la presencia de taninos condensados, así como lo manifiesta Maryati et al. (12); Sánchez-García et al. (32) que indican que la adición de cloruro férrico hace que el tanino forme compuestos complejos con iones Fe^{+3} . Resultados similares se obtuvieron por Paz-Díaz et al. (2), los cuales compararon los solventes acetona, etanol y metanol para la extracción de taninos a partir del fruto del árbol piñón de oreja; esta investigación encontró que el etanol posee una mayor capacidad para extraer taninos en las matrices vegetales. Los resultados cualitativos de esas investigaciones demostraron la aplicabilidad de estas matrices vegetales para su uso en el curtido de pieles (28). Además, según los autores para que el proceso de curtido sea efectivo es necesario un rango de pH es de 4 a 6, lo cual concuerda con el presente estudio (33). Cabe anotar que la temperatura del método de extracción de los taninos en esta investigación fue de 60°C con el fin de garantizar un mayor rendimiento de extracción en el proceso y evitar la degradación de los compuestos fenólicos que son de importancia. Esto concuerda con lo trabajado por Aguilar-López et al. (34), y Shirmohammadli et al. (35), quienes argumentan que el rango de temperatura ideal durante los métodos de extracción óptima se encuentra entre 50 y 60°C, puesto que, a temperaturas superiores a éstas, los taninos tienden a degradarse.

Cuantificación de taninos

En la figura 1 se observa la curva de calibración del ácido gálico obtenida del espectrómetro UV-VIS con un coeficiente de correlación igual $R^2 = 0,9998$. A partir de esta curva de calibración, se obtuvieron tres muestras para cada una de las concentraciones de taninos, esto arrojó un promedio de $110,1 \pm 4,5$ (50/50) y $105,5 \pm 3,7$ (70/30), donde

posteriormente se observaron diferencias significativas (prueba de Tukey $p < 0,05$) entre los dos tratamientos trabajados.

Los resultados de cuantificación de compuestos fenólicos expresados en ácido gálico permiten observar que la mayor concentración en la extracción de taninos en la almendra del mango se da con la solución etanol/agua 50/50 con un resultado promedio de 110,1 mg EAG/g, esto indica que la muestra con mayor cantidad de agua extrae un mayor valor en polifenoles, además el etanol extrae una gran variedad de compuestos fenólicos que son más solubles en esta mezcla de agua-etanol (36).

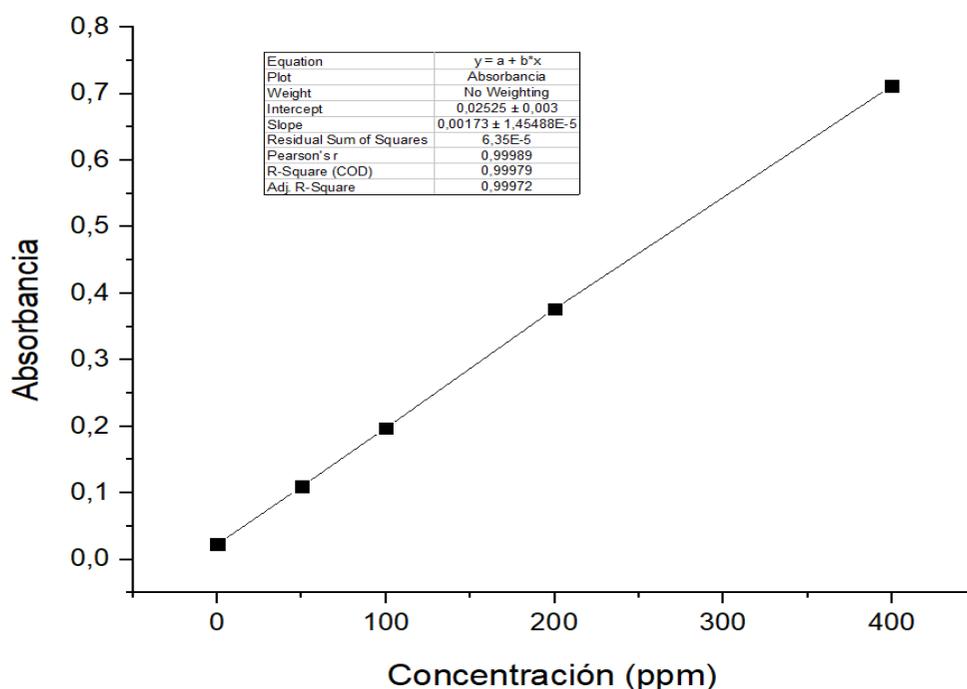


Figura 1. Curva de calibración del Ácido Gálico para la cuantificación de tanino

Investigaciones realizadas por Doris et al. (7), Mwaurah et al. (15), y Salazar-Beleño et al. (16) reportan concentraciones presentes en la semilla del mango en el rango de 18,1 a 200,3 mg EAG/g, siendo similar a lo obtenido en este trabajo con concentraciones de 110,1 con solvente Etanol/Agua 50%/50%. Estos valores son más altos en cuanto a contenido de polifenoles investigado por Correa et al. (37), donde cuantificaron taninos a partir de la semilla de mango dando como resultado 19,2 mg EAG/g por medio del solvente metanol, cabe anotar que estas diferencias en el contenido fenólico se deben posiblemente al tipo de cultivo, ubicación geográfica y métodos de extracción aplicado (38).

Determinación de la resistencia a la tracción y porcentaje de elongación

En la tabla 1 se observan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en los valores determinados por la resistencia a la tracción en los cueros ovinos dependiendo de la modalidad de corte. Para estos tratamientos se evaluaron las concentraciones de curtición 50/50 vs 70/30 (% v/v), siendo los valores del corte en sentido paralelo de 12,7 MPa y 11,3 MPa y del corte en sentido perpendicular los valores de 7,3 MPa y 10,5 MPa, respectivamente. Estas diferencias de la resistencia a la tracción en los tipos de corte paralelo y perpendicular pueden deberse a que la piel de las ovejas tiene un menor contenido de fibras de colágeno y, por ende, tienden a ser menos gruesas en las zonas de flexión, como el vientre, y cuello (21).

Tabla 1. Resistencia a la tracción y porcentaje de elongación con curtiente vegetal

Sentido del corte	Concentración (% v/v)	Tracción (MPa)	Elongación (%) a carga 100 N	Elongación a la rotura (%)
Paralelo	50%-50%	12,7 ± 0,3 ^a	3,2 ± 0,4 ^a	11,7 ± 0,5 ^a
	70%-30%	11,3 ± 0,2 ^b	6,0 ± 0,3 ^b	17,7 ± 1,1 ^b
Perpendicular	50%-50%	7,3 ± 0,5 ^a	5,7 ± 0,9 ^a	45,6 ± 4,1 ^a
	70%-30%	10,5 ± 0,8 ^b	5,9 ± 0,6 ^a	35,2 ± 6,5 ^a

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la prueba de Tukey $p < 0.05$

Estos resultados se asemejan a los encontrados por Mojo-Quisani et al. (31), quienes reportan que los valores de tracción en el cuero de ovino se encuentran entre 5,5 MPa y 10,2 MPa, de tal manera que los resultados obtenidos en la presente investigación superan significativamente los resultados obtenidos en investigaciones previas, lo cual demuestra un avance considerable en el campo de la curtición vegetal. Por otra parte, se evidencia que la elongación a la rotura de los cueros curtidos con taninos (50/50) en corte paralelo y perpendicular fue 11,7 y 45,6 %, respectivamente, mientras que los cueros curtidos en concentración de 70/30 muestran valores de 17,7 y 35,2 %, estos resultados según la norma internacional UNE-EN ISO 3376 (UNE-EN ISO, 2021), considera que un valor óptimo de elongación a la rotura está en el rango de 35% a 80%, bajo esta normativa se encontró que los cueros curtidos con taninos (50/50) y (70/30) están dentro de los límites permisibles de la norma, considerándose de buena calidad, sin embargo, los cortes en sentido paralelo están por debajo del rango permitido, indicando que los cueros por fuera de estos valores tienden a ser rígidos al momento de ser utilizados, necesitando tener cierta elasticidad y características para su confección (27).

Determinación de la resistencia al desgarro

La resistencia al desgarro del cuero curtido hace referencia a la cantidad de fuerza (medida en Newton, N) necesaria para realizar un corte en una muestra de cuero en una dirección específica (NTC-ISO 3377-2:2006). Los resultados evaluados se muestran en la tabla 2, donde se observa el impacto de las dos concentraciones de curtiente de tanino vegetal en la piel de ovina, de acuerdo con las especificaciones de la norma internacional de resistencia al desgarro UNE-EN ISO 3377-2 (UNE-EN ISO, 2016a). En este caso, los cueros de piel ovina curtidos con taninos vegetales exhiben una resistencia al desgarro promedio de 57,9 N (50/50), mientras que aquellos curtidos con una concentración del 70/30 muestran un promedio de desgarro de 41,9 N. Los valores aquí obtenidos superan ampliamente los estándares de calidad establecidos por la norma internacional UNE-EN ISO 3377-2 (UNE-EN ISO, 2016a) los cuales corresponden a 30 N.

Tabla 2. Resistencia al desgarro en curtiente de tanino vegetal

Concentración (%)	Sentido del corte	Espesor (mm)	Desgarro (N)	Desgarro Promedio (N)
50%-50%	Paralelo	1,3 ± 0,10 ^a	44,9 ± 3,6 ^a	57,9
	Perpendicular	1,2 ± 0,02 ^a	71,1 ± 7,3 ^a	
70%-30%	Paralelo	1,2 ± 0,08 ^a	28,1 ± 2,7 ^b	41,9
	Perpendicular	1,8 ± 0,15 ^b	55,7 ± 6,1 ^a	

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la prueba de Tukey $p < 0,05$

Según esta norma, los cueros obtenidos con dichos valores poseen una estructura fibrilar fuertemente constituida, lo que los hace altamente resistentes a la fractura, puesto que su fuerza supera el valor mínimo. Esto indica que estos cueros son adecuados para ser utilizados como forro de calzado, cumpliendo con los requisitos mínimos de resistencia al desgarro establecidos en la norma (35, 39). Por otra parte, Oliveira et al. (21), argumentan que los cueros ovinos destinados a gamuza deben cumplir con un requisito mínimo de resistencia al desgarro de 15 N. Asimismo, Negussie et al. (40) reportan valores máximos de resistencia a la tracción de 30,4 N en pieles ovinas curtidas con cromo. Estos resultados obtenidos en las investigaciones indican que los cueros de piel ovina de la raza Santa Inés, tratados con taninos extraídos de almendra de mango (*Mangifera indica*), exhiben características sobresalientes que los hacen ideales para su aplicación en diversas industrias del cuero.

Determinación de distensión y resistencia de la capa de la flor en el ensayo de estallido con esfera

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de estallido con esfera que se llevó a cabo para evaluar la distensión y resistencia de la capa de flor en cueros tratados con taninos. Los análisis realizados indicaron que no se observaron diferencias significativas entre las muestras ($p > 0,05$). Se observó que el promedio de distensión final utilizando taninos vegetales fue de 13,2 mm (50/50) y 10,6 mm (70/30), mientras que los valores de resistencia de la capa de flor mostraron resultados de rotura final de 37,4 daN (50/50) y 48,3 daN (70/30).

Tabla 3. Distensión y resistencia de la capa de la flor en el ensayo de estallido con esfera en curtiente tanino

Concentración (%)	Probeta	Inicial		Final	
		Rotura (daN)	Distensión (mm)	Rotura (daN)	Distensión (mm)
50%-50%	1	14,4	8,7	44,9	13,6
	2	11,6	7,5	32,6	13,2
	3	19,3	9,4	34,9	12,9
	Promedio (mm)	15,0 ± 3,9 ^a	8,5 ± 1 ^a	37,4 ± 6,5 ^a	13,2 ± 0,3 ^a
70%-30%	1	32,6	8,2	44,6	9,5
	2	34,1	8,4	43,7	9,7
	3	24,7	8,2	56,8	13
	Promedio (mm)	30,4 ± 5,1 ^b	8,2 ± 0,1 ^a	48,3 ± 7,3 ^a	10,6 ± 1,9 ^a

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la prueba de Tukey $p < 0,05$

Estos resultados son similares a los obtenidos por Basantes Basantes et al. (3), quienes curtieron pieles caprinas con extractos acuosos de *Caesalpinia spinosa*, obteniendo una distensión de 10,2 mm. Al comparar la distensión y resistencia de la capa de flor en el ensayo de estallido con esfera en cueros con los dos tipos de curtición, se encontró que ambos cumplen con los criterios de la norma técnica internacional UNE-EN ISO 3379 (UNE-EN ISO, 2016b), el cual exige un mínimo de 7,5 mm para considerarse como cueros resistentes a la fricción. En consecuencia, se puede inferir que el cuero ovino curtido con

taninos vegetales cumple con esta exigencia. Además, estos hallazgos proporcionan información relevante sobre las propiedades mecánicas de los cueros tratados con taninos, lo cual es de gran interés para la industria del cuero, ya que contribuye a mejorar la calidad y las aplicaciones de estas materias primas pecuarias.

Según Palencia-Blanco et al. (27), resulta relevante considerar que la resistencia de la capa de flor implica aplicar fuerza en un punto central del cuero, lo que aumenta el esfuerzo en esa zona hasta provocar su ruptura. Cuanto mayor sea esta característica físico-mecánica, mayor será la capacidad del cuero para resistir ataques bacterianos, conservación inadecuada, engrase inapropiado y estiramiento excesivo. En consecuencia, una mayor resistencia en esta propiedad resulta fundamental para garantizar la durabilidad y calidad del cuero.

Determinación de la temperatura de contracción del cuero

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de temperatura de contracción para los cueros curtidos con taninos. Los análisis indicaron que no se observaron diferencias significativas entre las muestras ($p > 0.05$). Es decir, los cueros tratados con taninos no mostraron variaciones estadísticamente significativas en cuanto a su temperatura de contracción.

Tabla 4. Temperatura de contracción del cuero en curtiente tanino.

Concentración (%)	Probeta	Volumen de agua (mL)	Temperatura de contracción (°C)
50%-50%	1	350	62
	2	350	62
	3	350	59
	Promedio		$61 \pm 1,7^a$
70%-30%	1	350	60
	2	350	60
	3	350	59
	Promedio		$60 \pm 0,6^a$

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas en la prueba de Tukey $p < 0,05$

Cabe mencionar, que la temperatura de contracción es aquella a la cual se produce un encogimiento perceptible al calentar gradualmente un cuero sumergido en un medio acuoso, por lo tanto, es recomendable que el cuero soporte mayor temperatura de contracción o encogimiento debido a que ésta mide la estabilidad térmica de la estructura fibrilar del cuero (41). En el proceso curtiembre, la prueba de estabilidad térmica es uno de los aspectos más importantes por garantizar la calidad y durabilidad del cuero en el tiempo. Durante esta investigación, el cuero curtido con los taninos extraídos de la almendra del mango obtuvo una temperatura de contracción promedio de 60°C, la cual es inferior al límite estándar (75°C) para la fabricación de productos de cuero según la norma internacional UNE-EN ISO 3380 (UNE-EN ISO, 2016c). Esto indica que la reacción de entrecruzamiento entre la piel (fibras de colágeno) y los taninos (semilla) fue débil, lo que implica que el cuero no sería tan duradero en el tiempo (42), una mayor resistencia a la temperatura de contracción significará un mejor grado de estabilización y resistencia a la degradación. Sin embargo, los resultados sugieren que la temperatura

de contracción del cuero puede variar según el método de curtido utilizado y el índice de orientación de las fibrillas de colágeno. Según Nasr et al. (43), en el proceso de curtido vegetal, la temperatura de contracción se encuentra por debajo de los 70°C, aunque se pueden presentar algunas incidencias en el proceso de piquelado, presentando un alto encogimiento al someterlo a la prueba de agua en ebullición (44).

Conclusiones

Se logró la extracción de los taninos de la semilla del mango (*Mangifera indica*) con resultados cualitativos que reportaron la presencia de taninos condensados en los extractos. Para las extracciones realizadas con las concentraciones de solventes (etanol-agua), se encontró que la relación 50%:50%, es la que otorga mejores resultados. En el estudio se consideró el uso del etanol como solvente para el extracto curtiente debido a su bajo costo, su compatibilidad con los principios de química verde y su facilidad de uso.

Se observó que la extracción de los taninos de la almendra del mango pueden ser una alternativa sostenible para la curtición vegetal en el cuero de especies menores como el caprino. En cuanto a las normas internacionales señaladas (UNE-EN ISO) para la calidad del cuero, se obtuvo una favorabilidad final en las pruebas físico-mecánicas como resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al desgarrar, distensión y rotura, siendo esenciales para determinar su funcionalidad en el cuero ovino de la raza Santa Inés (*Ovis aries*). Sin embargo, la prueba de contracción no fue tan favorable, estableciéndose por debajo de los 70°C, siendo un aspecto por mejorar en los procesos operativos como el piquelado.

Referencias

1. Unango FJ, Duraisamy R, Ramasamy KM. Preparation and characterization of eco-friendly ash salts for Goat skins preservation. *Int J Innov Technol Explor Eng*. 2019;8(11 Special Issue):184–190. Disponible en: <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1039.09811S19>.
2. Paz-Díaz HJ, Agudelo-Beltrán AY, Plata-Pastor DA, Pacheco-Valderrama MM, Salazar-Beleño AM, Murillo-Méndez CJ. Extracto de taninos del fruto piñón de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*) como curtiente para piel de conejo común (*Oryctolagus cuniculus*). *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 2021;19(1):180-190. Disponible en: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(19\)180-190](https://doi.org/10.18684/BSAA(19)180-190)
3. Basantes Basantes EF, Cabezas Coello RJ. Evaluación de las características físicas de pieles curtidas con un extracto acuoso a partir de *Caesalpinia spinosa*. *Rev Caribeña Ciencias Soc*. 2018;1–10.
4. Pradeep S, Sundaramoorthy S, Sathish M, Jayakumar GC, Rathinam A, Madhan B, Saravanan P, Rao JR. Chromium-free and waterless vegetable-aluminium tanning system for sustainable leather manufacture. *Chemical Engineering Journal Advances*. 2021;7(March):100108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2021.100108>.
5. Almeida LHH, Narváez Campos J, Ojeda MNN. Uso de taninos sintéticos durante el proceso de curtición de la piel de *Cavia porcellus* (CUY) en peletería fina. *La Revista Ecuatoriana de STEAM* 2022;2(2):792–808. Disponible en: <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11428>



6. Das RK, Mizan A, Zohra F, Başaran B, Ahmed S. Aplicación de un agente curtiente vegetal de origen vegetal autóctono extraído de *Xylocarpus granatum* en la producción de cuero recurtido al cromo y al semicromo. *TEKSTİL VeKonfeksiyon*. 2022;32(3):258–264. Disponible en: <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.106681>
7. Doris CR, Blanca RG, Noemí LR. Aplicación como curtiente: Extracción de taninos de semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su aplicación como curtiente. 2019;1:51–55
8. Seda Badessa T, Hailemariam MT, Ahmed SM. Greener approach for goat skin tanning. *Cogent Engineering*. 2022;9(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.2018959>
9. John Unango F, Duraisamy R, M Ramasamy K. A Review of eco-friendly preservative and bio-tannin materials using powdered barks of local plants for the processing of goatskin. *International Research Journal of Science and Technology*. January 2020;13:13-20. Disponible en: <https://doi.org/10.46378/irjst.2019.010103>
10. Vidal-Campello JMA. Curtimento de pele de peixe utilizando tanino vegetal extraído de eucalipto. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. 2021;25(1):392-401. Disponible en: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-034>
11. Azevêdo TKBD, Paes JB, Calegari L, Santana GM. Teor de taninos condensados presente na casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em função das fenofases. *Floresta e Ambiente*. 2017;24. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.026613>
12. Maryati T, Pertiwiningrum A, Bachrudin Z, Yuliatmo R. The exploration of banana bunch as a new vegetable tanning agent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;980(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012019>
13. Santos Corrêa SS, de Souza Alves LF, Chimbida Terezinha J, Franco Coradini M, Anto Matiucci A, Dourado Mesquita D, Rodrigues de Souza ML, Silva de Oliveira JD, Feiden A. Avaliação de couro de tilápia amarela e tilápia. *Research, Society and Development*. 2021;10(15):1-15. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22629>
14. Nasr, A, Elshaer M, Abd-Elrahem M. Evaluation of potential application for guava bark extract in leather tanning. *Egyptian Journal of Chemistry*, 2022; 65(11): 199-208. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.118540.5335>
15. Mwaurah PW, Kumar S, Kumar N, Panghal A, Attkan AK, Singh VK, Garg MK. Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2020 Sep;19(5):2421-2446. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12598>
16. Salazar-Beleño AM, Paz-Díaz HJ, Carreño-Castaño LA, Valderrama MMP, Murillo-Méndez CJ. Evaluación del efecto antioxidante del extracto polifenólico de la almendra del mango (*Mangifera indica* L.) var. Magdalena river. *Cienc y Agric*. 2021;18(2):11–22. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n2.2021.11839>
17. Dorta E, Lobo MG, González M. Optimization of factors affecting extraction of antioxidants from mango seed. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, vol. 6, p. 1067-1081. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0750-0>



18. Conde M, Combalia F, Baquero G, Ollé L, Bacardit A. Exploring the feasibility of substituting mimosa tannin for pine bark powder. A LCA perspective. *Clean Eng Technol.* 2022;7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100425>
19. Bedoya-mejía O, Arias SP, Leónidas M, David AR. Efecto del ensilaje de *thitonia diversifolia* sobre la composición láctea en hembras ovinas y su relación con el estatus nutricional. *Rev Lasallista Investig.* 2017;14(1):93–102. Disponible en: <https://doi.org/10.22507/rli.v14n1a8>
20. Avendaño Rodríguez VA, Navarro Ortiz CA. Alimentación de ovinos en regiones del trópico en Colombia. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos.* 2020;11(2):71-108. Disponible en: <https://doi.org/10.22579/22484817.471>
21. Oliveira GG, Andrade MB de, Perez HL, Almeida FLA, Fernandes VRT, Sbaraini SC, Bronzi RD, Souza MLR de. Resistance analysis of sheep hides ½ Poll Dorset ½ Santa Inês submitted to two tanning techniques. *Research, Society and Development.* 2022. 11(5). Disponible en: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28245>
22. Carrillo-González D, Hernández H D. Caracterización seminal de individuos ovinos criollos colombianos de pelo en el departamento de Sucre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA.* 2016;8(2):197-203. Disponible en: <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n2.2016.187>
23. Das RK, Mizan A, Zohra FT, Ahmed S, Ahmed KS, Hossain H. Extraction of a novel tanning agent from indigenous plant bark and its application in leather processing. *J Leather Sci Eng [Internet].* 2022;4(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42825-022-00092-5>
24. Griyanitasari G, Rahmawati D, Sugihartono, Erwanto Y. Cleaner sheep leather tanning process using *uncaria gambir*: The influence of rebating on leather properties. *J Phys Conf Ser.* 2020;1524(1). Disponible en: DOI 10.1088/1742-6596/1524/1/012011
25. Yáñez-Naranjo J, Hidalgo-Almeida LE. Cuero tallado para una marroquinería utilizando curtición mixta orgánica e inorgánica. *Publicare.*1(1):14-23. Disponible en: https://doi.org/10.56931/pb.2021.11_3
26. Zambrano JCL, Ocaña HRH, Neira PAM. Curtición de pieles ovinas y caprinas con curtientes orgánicos e inorgánicos. *Domino de las Ciencias.* 2022;8(4):530-541. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i3>.
27. Palencia-Blanco CG, Paz-Díaz HJ, Porras Oliveros JT, Carreño Castaño LA, Salazar Beleño AM, Pacheco Valderrama MM. Evaluación del cuero obtenido a partir de piel de pescado de Cachama Negra (*Colossoma macropomum*) utilizando taninos extraídos del pseudotallo del plátano (*Musa paradisiaca*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial.* 2022;21(2):115-129. Disponible en: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2198>.
28. Taha M, Yosef H, Nasr A, El-shaer M. Utilization of plant extracts in semi-chrome tanning leather. *Chem Res J.* 2020;5(1):167–71.
29. Priscila Auad FS, Mariliz G. Vegetable tannin composition and its association with the leather tanning effect. *Chem Eng Commun [Internet].* 2019;207(5):722–32. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1618843>
30. Souza MLR, Hoch AL, Gasparino E, Scapinello C, Dourado DM, da Silva SC, Lala B. Compositional analysis and physicochemical and mechanical testing of tanned rabbit

- skins. *World Rabbit Sci.* 2016;24(3):233–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2016.4037>
31. Quisani AM, Quispe JC, Suarez EH, Ccama JQ, Condori RM, Arisaca-Parillo AJ, Beltrán-Barriga PA. Evaluación del proceso de piquelado sobre la resistencia a la tracción de pieles de alpaca (*Vicugna pacos*) BEBE. *Rev Ciencias Agrar.* 2022;8(1):1–13. Disponible en: <https://doi.org/10.53719/rca.2021.516>
32. Sánchez-García Y, Rondón L, Hermosilla R, Saavedra M. Tamizaje fitoquímico de los extractos alcohólico, etéreo y acuoso de las hojas, tallos y flores de la *Helychrysum bracteatum*. *Rev Química Viva [Internet].* 2010;9(1):40–5. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86312852008>
33. Tekalign, M. H., Seda Badessa, T., & Mohammed, S. A. (2020). Sodom Apple (*Solanum Incanum*) Plant Material: A greener approach for goat skin tanning process. *Research Square*, 12, 1–21. Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-127254/v1>
34. Aguilar-López J, Jaén-Jiménez JC, Vargas-Abarca AS, Jiménez-Bonilla P, Vega-Guzmán I, Herrera-Núñez J, Soto-Fallas RM. Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica. *Tecnol en Marcha [Internet].* 2012;25(4):15–22. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v25i>
35. Shirmohammadli Y, Efhamisizi D, Pizzi A. Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. *Ind Crops Prod [Internet].* 2018;126(October):316–32. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.034>
36. Sarria Villa RA, Gallo Corredor JA, Benítez-Benítez R. Extracción de compuestos fenólicos y contenido de catequina en cortezas de tres especies forestales del Cauca-Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería.* 2021;15(29):19–27. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.2622>
37. Correa D, Romero B, León N. Extracción de taninos de semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su aplicación como curtiente. *J Agroindustria Sci.* 2019;1(3):51–55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/JAIS.2019.007>
38. Abdel A, Salama W, Hamed M, Fahmy A, Mohamed S. Phenolic-antioxidant capacity of mango seed kernels: therapeutic effect against viper venoms. *Revista Brasileira de Farmacognosia.* 2018;28(5):594–601. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.06.008>
39. Fuente-Guijarro C, Arcos-Logroño J, Molina-Paguay J. Curtición orgánica de pieles bovinas utilizando diferentes niveles de ácido húmico y *Caesalpinia spinosa* para cuero de marroquinería. *Polo Del Conocimiento.* 2021;6(1):583–602. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v6i1.2166>
40. Negussie F, Urge M, Mekasha Y, Animut G. Effects of different feeding regimes on leather quality of finished blackhead Ogaden sheep. *Sci Technol Arts Res J.* 2015;4(2):222–227. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4314/star.v4i2.29>
41. Sahubawa L, Pertiwinigrum A, Ningsih S. The effects of concentration from mimosa and formalin tanner materials mixture on the tanned black tilapia leather quality. *J Biol Agric Healthc.* 2017;7(18):29–33. Disponible en: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/38859/39968>
42. Ahmed FE, Gelebo GG, Gebre BM. Potential of water hyacinth leaves extract as a leather tanning agent. *J Am Leather Chem Assoc.* 2022;117(9):391–399.



43. Nasr AI, El Shaer MA, Abd-Elraheem MA. Potential application of used coffee grounds in leather tanning. *J Ecol Eng.* 2023;24(3). Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/157388>

44. Melgar D. *Tecnología del Cuero: Procesos de curtición, control de calidad y maquinarias.* Huancayo (Perú): Unidad Operativa de Aplicaciones de Tecnologías Hualhuas; 2000.