

**CARACTERÍSTICAS DEL CUERO CAPRINO CURTIDO CON EXTRACTO ACUOSO DE
CAESALPINIA SPINOSA ASISTIDO POR ULTRASONIDO**
**CHARACTERISTICS OF GOAT LEATHER TANNED WITH AQUEOUS EXTRACT OF
CAESALPINIA SPINOSA ASSISTED BY ULTRASOUND**

Autores: ¹Edwin Fernando Basantes Basantes, ²Hernán Patricio Ruiz Mármol, ³Franklin Rolando Villafuerte Carrillo, ⁴Vicente Fabricio Domínguez Narváez, ⁵José Antonio Romero Paguay y ⁶Ramón Gonzalo Aragadvay Yungán.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2262-0222>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2759-641X>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8322-6213>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9175-5967>

⁵ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7870-2908>

⁶ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7794-7775>

¹E-mail de contacto: ef.basantesb@uea.edu.ec

²E-mail de contacto: hruiz@uea.edu.ec

³E-mail de contacto: fvillafuerte@uea.edu.ec

⁴E-mail de contacto: vdominguez@uea.edu.ec

⁵E-mail de contacto: jromero@uea.edu.ec

⁶E-mail de contacto: rg.aragadvay@uta.edu.ec

Afiliación: ^{1*}^{2*}^{3*}^{4*}^{5*}Universidad Estatal Amazónica, (Ecuador). ^{6*}Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador).

Artículo recibido: 25 de Junio del 2025

Artículo revisado: 26 de Junio del 2025

Artículo aprobado: 13 de Julio del 2025

¹Bioquímico Farmacéutico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster en Toxicología Industrial y Ambiental de la Universidad de Cuenca, (Ecuador). Máster Universitario en Ciencias y Tecnología Química Especialidad en Química Analítica de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, (España). Magíster en Sistemas de Gestión de Calidad de la Universidad Tecnológica Equinoccial, (Ecuador).

²Ingeniero en Industrias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster en Industrias Pecuarias mención Industrias de la Carne de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Doctor en Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, (Perú).

³Ingeniero en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador). Magíster en Ciencia de los Animales de la Universidad Andina Simón Bolívar, (Ecuador).

⁴Ingeniero Industrial de la Universidad Estatal de Bolívar, (Ecuador). Magíster en Procesamiento de Alimentos de la Universidad Agraria del Ecuador, (Ecuador).

⁵Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Máster en Fuentes Renovables de Energía del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, (Cuba). Doctor en Ciencias Técnicas de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, (Cuba).

⁶Ingeniero Zootecnista de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Máster en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de México, (México). Doctor en Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, (España). Especialista en Reproducción Bovina de la Universidad Nacional de Córdoba, (Argentina).

Resumen

La industria de la curtiembre genera altos niveles de cromo (III) en sus efluentes, afectando el ambiente y la salud humana. En un esfuerzo por contribuir a contrarrestar esta contaminación, esta investigación evaluó las características físicas del cuero caprino curtido con extractos vegetales. Se obtuvieron extractos acuosos al 5% de *Caesalpinia spinosa* mediante sonicación a baja y alta potencia. Mediante el método de Folin Ciocalteu, se determinó el contenido de

polifenoles en el extracto acuoso a baja y alta potencia, con concentraciones de 46,82% y 55,97%, respectivamente. Se curtieron pieles caprinas con los dos extractos obtenidos, estableciendo dos tratamientos con seis repeticiones cada uno. Los resultados mostraron que el tratamiento con extracto acuoso a potencia alta, con una resistencia a la tracción de 1610 N/cm² y un alargamiento a la rotura de 65% tuvo una diferencia estadísticamente significativa (p<0,0001) frente al tratamiento a baja potencia. Así mismo, la propiedad sensorial de llenura fue

diferente entre los tratamientos ($p=0,045$), mientras que, la propiedad de blandura y redondez no presentaron diferencias significativas. La extracción asistida por ultrasonidos a potencia alta demostró ser una técnica eficiente en la obtención de extractos curtientes ricos en poli fenoles de *Caesalpinia spinosa*. Los productos finales obtenidos superan las exigencias de calidad para cuero destinado a la confección de calzado establecido por la Norma Técnica 1810 del Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Palabras clave: Curtido vegetal, *Caesalpinia spinosa*, Extractos vegetales, Sonicación, Cromo.

Abstract

The tanning industry generates high levels of chromium (III) in its effluents, affecting the environment and human health. In an effort to help counteract this pollution, this research evaluated the physical characteristics of goat leather tanned with plant extracts. Aqueous extracts of *Caesalpinia spinosa* were obtained at 5% by low- and high-power sonication. Using the Folin Ciocalteu method, the polyphenol content in the low- and high-power aqueous extract was determined, with concentrations of 46.82% and 55.97%, respectively. Goat hides were tanned with the two extracts obtained, establishing two treatments with six replicates each. The results showed that the treatment with the high-power aqueous extract, with a tensile strength of 1610 N/cm² and an elongation at break of 65%, had a statistically significant difference ($p<0.0001$) compared to the low-power treatment. Likewise, the sensory property of fullness was different between treatments ($p=0.045$), while the properties of softness and roundness did not present significant differences. High-power ultrasound-assisted extraction proved to be an efficient technique for obtaining polyphenol-rich tanning extracts from *Caesalpinia spinosa*. The final products obtained exceed the quality requirements for leather destined for footwear manufacturing established by Technical Standard 1810 of the Ecuadorian Institute of Standardization.

Keywords: Vegetable tanning, *Caesalpinia spinosa*, Plant extracts, Sonication, Chromium.

Sumário

A indústria de curtumes gera altos níveis de cromo (III) em seus efluentes, afetando o meio ambiente e a saúde humana. Em um esforço para ajudar a neutralizar essa poluição, esta pesquisa avaliou as características físicas do couro de cabra curtido com extratos vegetais. Extratos aquosos de *Caesalpinia spinosa* foram obtidos a 5% por sonicção de baixa e alta potência. Utilizando o método de Folin Ciocalteu, o teor de polifenóis no extrato aquoso de baixa e alta potência foi determinado, com concentrações de 46,82% e 55,97%, respectivamente. Os couros de cabra foram curtidos com os dois extratos obtidos, estabelecendo dois tratamentos com seis repetições cada. Os resultados mostraram que o tratamento com o extrato aquoso de alta potência, com resistência à tração de 1610 N/cm² e alongamento na ruptura de 65%, teve uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) em comparação ao tratamento de baixa potência. Da mesma forma, a propriedade sensorial de volume apresentou diferença entre os tratamentos ($p = 0,045$), enquanto as propriedades de maciez e redondeza não apresentaram diferenças significativas. A extração assistida por ultrassom de alta potência demonstrou ser uma técnica eficiente para a obtenção de extratos curtidores ricos em polifenóis de *Caesalpinia spinosa*. Os produtos finais obtidos excedem os requisitos de qualidade para couro destinado à fabricação de calçados estabelecidos pela Norma Técnica 1810 do Instituto Equatoriano de Normalização.

Palavras-chave: Curtimento vegetal, *Caesalpinia spinosa*, Extratos vegetais, Sonicção, Cromo.

Introducción

El estudio de las características del cuero caprino curtido con extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa* asistido por ultrasonido

involucra varias variables clave. Al respecto, el método de curtido, específicamente el uso de extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa* en combinación con ultrasonido, lo cual pretende mejorar las propiedades del cuero en comparación con métodos tradicionales o sin tratamiento. La elección de esta variable permite evaluar cómo la aplicación de la tecnología ultrasonora y los extractos naturales afectan las propiedades del cuero. Por otro lado, se encuentran las propiedades físicas, químicas, mecánicas, microbiológicas y estéticas del cuero. Entre las propiedades físicas, se considera la dureza, que refleja la resistencia a la deformación; la flexibilidad, que indica la maleabilidad del cuero; el grosor, que influye en la durabilidad y uso final del producto; y el peso específico, que puede relacionarse con la compactación del material. Desde una perspectiva química, es importante analizar la composición química del cuero, incluyendo la presencia de taninos y otros compuestos fenólicos que actúan en el proceso de curtido, además de la resistencia del cuero a agentes químicos como alcohol y agua.

En términos mecánicos, se evalúan variables como la resistencia a la tracción, que determina la capacidad del cuero para soportar fuerzas sin romperse; la elongación a la ruptura, que indica su elasticidad; y la resiliencia, relacionada con su capacidad de volver a su forma original tras deformarse. Igualmente, las características microbiológicas, como la resistencia a microorganismos y la vida útil del cuero, son relevantes para comprender su durabilidad y estabilidad en diferentes ambientes. Finalmente, aspectos visuales o estéticos, como el color, la textura superficial y el brillo, son importantes en la aceptación comercial del producto final. Estas variables se ven afectadas por las condiciones controladas en el proceso, incluyendo el tipo y origen del cuero, la

duración del tratamiento, la temperatura y presión aplicadas, así como la concentración del extracto y la intensidad y duración del ultrasonido. El control de estas variables permite aislar los efectos específicos que tiene el tratamiento en las características del cuero, garantizando la validez de los resultados y aportando conocimientos sobre las potencialidades de esta tecnología y materiales naturales en la industria del curtido.

Por consiguiente, el objetivo de la curtición de pieles es obtener una valiosa materia prima resistente al ataque bacteriano, flexible e imputrescible llamado cuero utilizado para la manufactura de calzado, marroquinería y vestimenta (Basantes y Pino, 2018). Este material presenta características únicas como el porcentaje de absorción de humedad, maleabilidad y la elasticidad convirtiéndolo en una materia prima que no puede ser sustituidas por productos sintéticos (Puente, 2019). Las pieles caprinas gracias a su resistencia, suavidad y uniformidad tienen alta aplicación en la industria del vestido y calzado, esta materia prima alcanza altos precios al estar bien trabajada (Vaca et al., 2022). La industria de la curtiembre conlleva consigo la utilización de altos niveles de sales de cromo teniendo como consecuencia que las descargas de agua producidas, así como sus sedimentos contienen concentraciones elevadas de este metal causando efectos negativos para la flora y fauna natural como para la población aledaña (Chandra y Kulshreshtha, 2004; Sreeram y Ramasami, 2003). La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica al cromo (III) dentro del grupo 3 “no clasificable como carcinógeno para los humanos”, pero el cromo (VI) se lo clasifica dentro del grupo 1 “carcinógeno para los humanos” (International Agency for Research on Cancer [IARC]), 2012).

La *Caesalpinia spinosa* es un árbol leguminoso propio de Latinoamérica, distribuido desde Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y el norte de Chile presenta vainas de color rojo o amarillo pálido que miden entre 8 y 10 cm de largo (Chambi et al., 2013). Además, *Caesalpinia spinosa* es una planta que reporta una concentración del 40 al 60 % de taninos (De la Cruz, 2004). Estos compuestos polifenólicos se utilizan en curtición de pieles, es así que la utilización de extractos vegetales para la conversión de pieles de animales en materia primas duraderas en regiones sudamericanas data de por lo menos 2000 años atrás (Hidalgo, 2016). Aunque existen reportes sobre la obtención de harina de semillas de *Caesalpinia spinosa* y evaluación de sus propiedades curtientes (Castell et al., 2013; Haslam, 2007; Puente et al., 2021), no existe información relacionada con el uso de los extractos acuosos ricos en polifenoles obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido. Por este motivo el objeto principal de este trabajo investigación es proveer de una alternativa al uso de sales de cromo para esta industria, replazándolo con extractos tánicos obtenidos a partir de la *Caesalpinia spinosa* que incluyen procesos de ultrasonido y lograr la obtención de un cuero con similares características de calidad. Para ello se propuso (i) obtener dos extractos tánicos acuosos sonicados con alta y baja potencia. (ii) cuantificar el contenido de taninos en los extractos y (iii) evaluar las propiedades físicas y sensoriales de las pieles obtenidas.

Materiales y Métodos

Obtención del extracto acuoso al 5% de *Caesalpinia spinosa*

Se procedió a triturar las vainas secas de *Caesalpinia spinosa* en un molino con rotor de martillo, el material obtenido se pasó por una

criba de 200 μm , se pesó 100 g del polvo obtenido en una balanza analítica marca Ohaus, se realizó la verificación de la balanza con una masa de 10 g, se colocó 50 g de material vegetal en un balón y se llevó a un volumen de aforo de 1000 mL de agua destilada, posterior el balón con su contenido se colocó en un sonicador marca Branson a una temperatura de 50 °C y a una potencia alta de 30 kHz durante 30 min, la solución obtenida se filtró y el extracto obtenido se depositó en un frasco ámbar estéril el cual se colocó en un refrigerador marca Mabe a una temperatura de 4 °C para su conservación. Para la obtención del extracto acuoso al 5% de *Caesalpinia spinosa* a potencia baja, se siguió el procedimiento anterior, pero seleccionando una potencia de 15 kHz en el sonicador.

Curva de calibración

Para la lectura de polifenoles se aplicó el método de Folin- Ciocalteu, por lo que se preparó una curva de calibración con 5 puntos 200, 400, 600, 800, 1000 mg/L a partir de una solución de 1000 mg/L de ácido gálico (Ainsworth y Gillespie, 2007).

Extracción de polifenoles

La extracción de polifenoles se realizó con base en la metodología de (Singleton et al., 1999; Waterhouse, 2002). En un balón aforado de 25 mL se colocó 1 mL de extracto acuoso al 5% de *Caesalpinia spinosa*, 0,5 mL de reactivo de Folin- Ciocalteu y 10 mL de carbonato sódico anhidro 7,5%. Posteriormente, se completó hasta 25 mL con agua destilada, se agitó la solución en un vortex y se dejó reposar por el lapso de 1 hora. Transcurrido ese tiempo, se realizó la lectura en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific a una longitud de onda de 765 nm.

Preparación del blanco

En un balón aforado de 25 mL se colocó 1 mL de agua destilada, 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 10 mL de carbonato sódico anhidro al 7,5%. Luego, se completó hasta 25 mL con agua destilada, se agitó la solución en un vortex y se dejó reposar por el lapso de 1 hora. Pasado ese tiempo, la lectura se efectuó en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific a una longitud de onda de 765 nm.

Lectura de polifenoles

Con una pipeta automática marca Four, se tomó 10 mL del blanco preparado, se depositó en una celda de cuarzo y se calibró el espectrofotómetro marca Thermo Scientific. A continuación, con una pipeta automática se tomó 10 mL de la muestra preparada, se depositó en una celda de cuarzo y se procedió a tomar la lectura a una longitud de onda de 765 nm. La cantidad de polifenoles presentes en el extracto se calculó a partir de la curva de calibración expresándose el resultado de polifenoles totales como equivalentes de ácido gálico (Muñoz et al., 2017).

Curtido de pieles caprinas

Empleando como base la metodología utilizada por (Hidalgo, 2016), el proceso de curtido se efectuó en un bombo de curtición en base a la masa de las pieles caprinas. Para esto, se añadió un 8% del extracto acuoso obtenido y se dejó que ruede el bombo por un tiempo de 5 horas, luego, se añadió el 0,5% de basificante y se hizo rodar el bombo por 2 horas. Finalmente, se añadió el 0,5% de ácido fórmico diluido 1:10, se hizo rodar el bombo por 30 minutos, se eliminó el baño y se realizó un lavado con agua a temperatura ambiente por un tiempo de 20 minutos. Luego de esto, se eliminó el baño y se efectuó un recurtido con el 3% del extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa*.

Ensayos físicos en las pieles caprinas

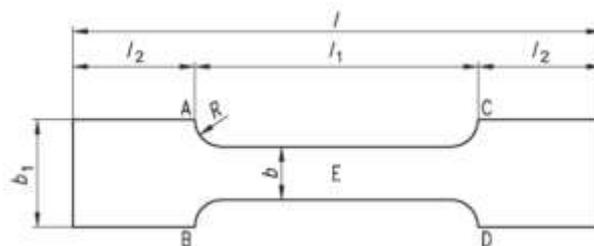


Figura 1. Diseño de la Probeta

Una vez realizado el proceso de curtido a las pieles caprinas, el producto fue sometido a los siguientes ensayos físicos: Resistencia a la tracción o tensión y porcentaje de alargamiento a la rotura. Para la realización de los ensayos físicos: Resistencia a la tracción y porcentaje de alargamiento de los productos obtenidos, se trabajó con el diseño de probeta que se observa en la Figura 1 con sus respectivas medidas, las cuales se observan en la Tabla 1 según lo establece la norma NTE-INEN- ISO 3376 (ISO 3376:2011, 2014).

Tabla 1. Medidas de la probeta.

Denominación	I (mm)	I ₁ (mm)	I ₂ (mm)	b (mm)	b ₁ (mm)	R (mm)
Normal	110	50	30	10	20	5

Fuente: elaboración propia

Resistencia a la tracción

El diseño y medidas de la probeta se estableció según lo descrito en la norma NTE-INEN- ISO 3376:2011. Para la determinación de la prueba física, se colocó las mordazas separadas a 50 mm y se ubicó la probeta, luego, se puso en marcha el dinamómetro hasta la ruptura de la probeta, ese momento se registró la lectura.

Porcentaje de alargamiento a la ruptura

El diseño y medidas de la probeta, así como la determinación de la prueba física porcentaje de alargamiento a la ruptura, se realizó según el procedimiento descrito en la norma NTE INEN-

ISO 3376:2011. Para esto, la probeta fue colocada entre las mordazas del dinamómetro, se midió la distancia entre las mordazas y se puso en marcha el dinamómetro hasta que se rompa la probeta. Posteriormente, se anotó la distancia entre las mordazas en el instante que se produjo la ruptura de la probeta.

Análisis estadístico

Las mediciones experimentales relacionadas a las propiedades físicas se sometieron a un análisis T-Student, utilizando el programa estadístico Infostat® versión 2016. Para el análisis de las propiedades sensoriales como llenura, blandura y redondez se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis para variables no paramétricas para diferencias entre medias.

Resultados y Discusión

A través del método de Folin-Ciocalteu se determinó la concentración de polifenoles presentes en el extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa* descrito en la Tabla 2. En el extracto acuoso potencia baja se obtuvo un 46,82% de concentración de poli fenoles, mientras que, en el extracto acuoso potencia alta, la concentración fue de 55,97%. Los porcentajes encontrados en el presente trabajo fueron superiores a los reportados en estudios realizados por (Basantes y Pino, 2018), quien determinó una concentración de Taninos del 50,30 % en un extracto acuoso al 10% de *Caesalpinia spinosa*. En ambos casos, la concentración de poli fenoles se encuentra en los rangos reportados por (De la Cruz, 2004), quien expresó que el contenido de taninos en una planta de estudio ubicada en la sierra ecuatoriana osciló entre el 40- 60 %. Las diferencias significativas observadas en las concentraciones de poli fenoles en los extractos acuosos obtenidos, se debe posiblemente a la eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido dado que esta

propiedad física produce una cavitación acústica en el disolvente (Chemat et al., 2011). Este efecto permite una mejor penetración del disolvente en la muestra y en consecuencia el mejoramiento de la transferencia de masa desde las membranas celulares (Da Porto, Porretto & Decorti, 2013).

La evaluación de la propiedad física resistencia a la tracción, realizada a los cueros caprinos obtenidos mediante curtición con extracto sónico de alta potencia (30 kHz), a partir de la *Caesalpinia spinosa* estableció diferencias altamente significativas entre medias ($P < 0,0001$) y fue superior para T1 que mostró un valor de 1610 N/cm² en contraste a T2 que fue de 1083N/cm². El valor reportado para T1 en la presente investigación, cumple con las exigencias de calidad requerida por la Asociación española en la Industria del Cuero - IUP 6 (ISO 3376:2020, 2020), que establece como límite permisible para considerarse cueros de buena calidad valores que van de 800 a 1500 N/ cm² y la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 20942 para la confección de calzado que establece un mínimo de 1500 N/ cm² (Basantes Basantes & Pino Falconí, 2018).

Tabla 2. Concentración de poli fenoles en el extracto acuoso de *Caesalpinia spinosa* asistido por ultrasonido a diferentes potencias (15 y 30 kHz).

Concentración de Poli fenoles en extracto acuoso de <i>Caesalpinia spinosa</i> sonificado con alta potencia	Concentración de Poli fenoles en extracto acuoso de <i>Caesalpinia spinosa</i> sonificado con baja potencia	E.E.M	P-valor	Significancia
55,97 % ^a	46,82 % ^b			

^{a, b} Letras diferentes en una misma fila difieren significativamente a un valor de $p < 0,05$. EEM: error estándar de la media n= número de repeticiones.

Al comparar resistencias de pieles curtidas con el uso de extracto a base de harina de *Caesalpinia spinosa* se reportó una fuerza a la tracción de 333,24 N/cm² (Hidalgo Almeida, 2016), valores inferiores a los reportados en el presente trabajo. La resistencia a la tracción encontrada en la piel caprina tratada con extractos sonicados a alta potencia en el presente estudio son superiores al ser comparados con pieles de ovejas curtidas con *Cassia singueana*, en el estudio realizado por (Teklemedhin et al., 2023), con un valor de 1560 N/cm². Estas diferencias pueden deberse a las cualidades de los extractos acuosos ricos en poli fenoles obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido de alta potencia.

En este sentido, (Hernández et al., 2020) demostró que el proceso de sonicación permite obtener extractos con un perfil fitoquímico significativo en flavonoides, esteroides y triterpenos cuando se sometieron a rangos de 25 kHz durante 16 minutos. Para Živković et al. (2019) la obtención de extractos con asistencia de ultrasonido permite incrementar el rendimiento de extracción. Por otra parte, el uso de extractos vegetales ricos en poli fenoles potenciaría el establecimiento de enlaces entre las fibras de colágeno de la piel, lo que le confiere resistencia al agua, calor y abrasión (Isaza, 2007). En consecuencia, la capacidad del poli fenol de formar complejos con macromoléculas, al precipitar las glicoproteínas que constituyen la piel se vería potencializada por la extracción asistida por ultrasonido a una potencia alta de 30 kHz a los que fueron sometidos los extractos de *Caesalpinia spinosa*.

En lo que respecta al alargamiento a la rotura se observó que la piel caprina tratada con el extracto acuoso de potencia alta presentó un 65% de alargamiento, valor que superó estadísticamente ($P < 0,0001$) en un 7% más a la

piel caprina tratada con extracto acuoso de potencia baja que alcanzó un máximo de 58% de alargamiento. Los resultados obtenidos para la variable alargamiento a la rotura mostraron que el más adecuado se consiguió al utilizar el extracto acuoso de la *Caesalpinia spinosa*, asistida por ultrasonido a una potencia alta de 30 kHz que presentó una concentración de 55,97% de poli fenoles logrando curtir las pieles caprinas para obtención de un cuero con un moldeo adecuado para pasar de la forma plana a la tridimensional incrementando su calidad. Los resultados encontrados en la presente investigación en alargamiento a la rotura son superiores al ser comparados con los valores reportados por (Teklemedhin et al., 2023), quienes, al curtir pieles de ovejas con caprinas con *Cassia singueana*, obtuvieron un porcentaje de 45,3% y de forma contraria a (Hidalgo Almeida, 2016), que al evaluar la curtición de pieles caprinas con harina de *Caesalpinia spinosa*, registró un valor medio de 72,12%, superior al reportado en la presente investigación.

La norma técnica IUP 6 (ISO 3376 IULTCS/IUP 6, 2020), establece que el porcentaje de alargamiento a la rotura debe estar entre el 40 y 80%, los productos obtenidos en los cueros curtidos con ambos extractos sonicados a alta y baja potencia de ultrasonidos cumplen este requisito. De igual forma se cumple con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 20942 (NTE INEN-ISO 20942, 2022) para la confección de calzado que establece un mínimo de 40%. Finalmente, las propiedades sensoriales como blandura y redondez no presentaron diferencias significativas entre las pieles tratadas con extractos de alta y baja potencia. Mientras que para la llenura se pudo evidenciar una diferencia significativa ($P=0,045$) a favor de la piel caprina tratada con extracto acuoso de potencia alta que obtuvo

4,69 puntos frente a T2 que fue de 4,25 puntos. La puntuación superior en llenura a favor del cuero curtido con extractos sonicados de *Caesalpinia spinosa* a alta potencia de ultrasonido nos evidenciaría la capacidad de introducirse en forma más homogénea en el entretejo fibrilar de tal manera que al deslizar la palma de la mano sobre la superficie de la piel tanto del lomo como de las faldas se apreció una sensación de llenura, sin partes demasiado vacías o lo contrario muy llenas. Hay que considerar que las evaluaciones sensoriales del

Tabla 3. *Propiedades físicas y sensoriales de pieles caprinas curtidas con extracto acuoso de Caesalpinia spinosa asistido por ultrasonido a diferentes potencias*

Propiedades	Extracto acuoso de potencia alta (T1)	Extracto acuoso de potencia baja (T2)	E.E.M	P-valor	Significancia
Resistencia a la tracción (N/cm ²)	1610 ^a	1083 ^b	272,17	<0,0001	**
Alargamiento a la rotura (%)	65 ^a	58 ^b	4,13	<0,0001	**
Llenura*	4,69 ^a	4,25 ^b	0,38	0,045	*
Blandura*	2,50 ^a	2,38 ^a	0,51	>0,999	NS
Redondez*	4,50 ^a	4,25 ^a	0,50	0,6084	NS

^{a, b} Letras diferentes en una misma fila difieren significativamente a un valor de $p < 0,05$. EEM: error estándar de la media. *Las propiedades sensoriales se evaluaron en una escala de 1-5 y se sometieron a un análisis estadístico de Kruskal-Wallis.

Conclusiones

Se determinó la concentración de polifenoles en dos extractos acuosos al 5% asistidos por ultrasonido de alta (30 kHz) y baja (15 kHz) potencia obtenidos a partir de *Caesalpinia spinosa* y que fueron de 55,97% y 46,82% respectivamente, misma que permitió realizar los procesos de curtido de pieles caprinas. El análisis de las propiedades físicas a las materias primas tratadas alcanzó buenos resultados en cuanto a resistencia a la tracción, y alargamiento a la rotura. La extracción asistida por ultrasonidos a potencia alta demostró ser una técnica eficiente y de bajo costo en la obtención de extractos curtientes ricos en poli fenoles de *Caesalpinia spinosa*, por lo que se puede garantizar el uso de este cuero para la confección de cualquier prenda de vestir. Es importante disminuir la utilización del cromo

trivalente en los procesos de curtición ya que como se evidencia por este y otros estudios los resultados con productos alternativos han alcanzado similares o mejores estándares en referencia a la calidad de cueros obtenidos.

Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, proyecto (Resolución Nro. UTA-CONIN-2023-0058-R)

Referencias Bibliográficas

Ainsworth, E., & Gillespie, K. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875–877.

- <https://doi.org/10.1038/NPROT.2007.102;KWRD=LIFE+SCIENCES>
- Basantes, E., & Pino, P. (2018). Evaluación de las características sensoriales de pieles caprinas curtidas con dos extractos tánicos a partir de *Caesalpinia spinosa*. *Caribeña de Ciencias Sociales*, diciembre.
- Castell, J., Sorolla, S., Jorba, M., Aribau, J., Bacardit, A., & Ollé, L. (2013). Tara (*Caesalpinia Spinosa*): The sustainable source of Tannins for Innovative Tanning Processes. *JALCA*, 108, 221–229.
- Chambi, F., Chirinos, R., Pedreschi, R., Betalleluz-Pallardel, I., Debaste, F., & Campos, D. (2013). Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (*Caesalpinia spinosa*) pods. *Industrial Crops and Products*, 47, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.009>
- Chandra, P., & Kulshreshtha, K. (2004). Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants. *The Botanical Review* 2004 70:3, 70(3), 313–327. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2004\)070\[0313:CAATIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2004)070[0313:CAATIA]2.0.CO;2)
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023>
- De la Cruz, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*. *Revista del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 7(14), 64–73. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i14.733>
- Haslam, E. (2007). Vegetable tannins – Lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry*, 68(22–24), 2713–2721.
- <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2007.09.009>
- Hernández, S., Quiroz, C., Ramírez, M., Jesús, E., & Aguilar, M. (2020). Optimización del proceso de extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de *Justicia spicigera* Schldl. mediante la metodología de superficie de respuesta. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23(0), 1–7. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.246>
- Hidalgo, L. (2016). Diseño y Tecnología RESUMEN Comparison of tanning with flour *Caesalpinia spinosa*, with mineral tanning with skins Chrome sulphate *Chervines*. *Industrial Data*, 19(1), 100–108. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81650062012.pdf>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. In IARC 100 (Issue Arsenic, metals, fibres, and dusts).
- Isaza, M. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia Et Technica*, 13, 13–18.
- ISO 3376 IULTCS/IUP 6. (2020). Leather-Physical and mechanical tests-Determination of tensile strength and percentage elongation Cuir-Essais physiques et mécaniques-Détermination de la résistance à la traction et du pourcentage d'allongement. www.iso.org
- ISO 3376:2011. (2014). Cuero. Ensayos Físicos y Mecánicos. Determinación de la resistencia a la tracción y del porcentaje de alargamiento. https://drive.google.com/file/d/1DngAsOvYRReFwkeVxoK9qD0Y0RJACJ_x/view
- ISO 3376:2020. (2020). Leather-Physical and mechanical tests-Determination of tensile strength and percentage elongation Cuir-Essais physiques et mécaniques-Détermination de la résistance à la traction et

- du pourcentage d'allongement. In inglés. www.iso.org
- Muñoz, Ó., Torres, G., Núñez, J., de la Rosa, L., Rodrigo, J., Ayala, J., & Álvarez, E. (2017). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de *folin-ciocalteu* con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- NTE INEN-ISO 20942. (2022). Cuero-Cuero curtido al puro cromo para corte de calzado-Requisitos y métodos de ensayo.
- PuenteGuijarro, C. (2019). Curtición de pieles bovinas con *Caesalpinia spinosa* en combinación con oxazolidina. *Industrial Data*, 22(1), 7–22. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16522>
- Puente, C., Arcos, J., & Molina, J. (2021). Curtición orgánica de pieles bovinas utilizando diferentes niveles de ácido húmico y *caesalpinia spinosa* para cuero de marroquinería. *Polo Del Conocimiento*, 6, 583–602. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2166>
- Singleton, V., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sreeram, K., & Ramasami, T. (2003). Sustaining tanning process through conservation, recovery and better utilization of chromium. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(3), 185–212. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00151-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00151-9)
- Teklemedhin, T., Gebretsadik, T., Gebrehiwet, T., Gebrekidan, G., Edris, M., Teklegiorgis, N., & Hagos, K. (2023). Vegetable Tannins as Chrome-Free Leather Tanning. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6220778>
- Vaca, M., Oleas, J., Peralta, M., & Hidalgo, L. (2022). Evaluación Físico - Mecánicas del Acabado Catiónico con Diferentes Niveles de Cera de Cuero Pulible de Cabra. *Polo Del Conocimiento*, 7(2), 1568–1584. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i2.3666>
- Waterhouse, A. (2002). Determination of Total Phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 6(1), 11.1.1-11.1.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.FAI0101S06>
- Živković, J., Janković, T., Menković, N., & Šavikin, K. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of isogentisin, gentiopicroside and total polyphenols from gentian root using response-surface methodology. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111567>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Edwin Fernando Basantes Basantes, Hernán Patricio Ruiz Mármol, Franklin Rolando Villafuerte Carrillo, Vicente Fabricio Domínguez Narváez, Romero Paguay José Antonio y Ramón Gonzalo Aragadvay Yungán.

