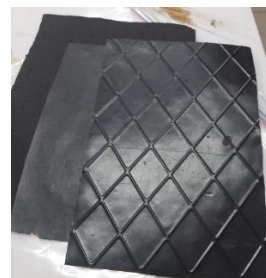


Informe Final Técnico / Científico

Desarrollo del cuero sostenible de la pulpa de café

Nombre de la Investigación:	Desarrollo de cuero sostenible a partir de la pulpa de café.
Contrato No.	FUNDACIÓN NICA FRANCE–2024 TNS-SV
País	Nicaragua
Institución	Fundación Nicafrance – UNAN CUR MATAGALPA
Investigador Líder	Jose Alfredo Montenegro
Investigadores asociados	Melanie Bordeaux



Matagalpa, 30 de junio de 2025

Introducción

La industria textil es una parte integral de la economía global, pero su impacto en la naturaleza ha sido motivo de preocupación creciente. La producción de cuero convencional genera problemas éticos, sociales y ambientales. Las curtidurías causan eutrofización, liberación de sustancias químicas, escasez de agua y calentamiento global. Se sabe que el arsénico, un químico muy utilizado, causa cáncer de pulmón (Pavani *et al.* 2024) En un mundo cada vez más consciente de la sostenibilidad, se requieren soluciones innovadoras para abordar estos problemas y reducir el efecto negativo generado por este sector. Ante esta difícil situación, cobra importancia la elaboración del cuero vegano, una alternativa al cuero animal y que se fabrica sin utilizar ningún producto de éste.

Las alternativas que se están generando son más naturales y favorables para el medio ambiente; incluyen materiales derivados de celulosa bacteriana, micelio fúngico, colágeno cultivado en laboratorio, fibra de tronco de plátano, hojas de cactus, fibras de mango, hojas de piña, entre otros, que casi siempre son subproductos que resultan de procesos primarios. Es pertinente subrayar que estas iniciativas sustitutivas aún no tienen las mismas cualidades deseadas que el cuero convencional, ya que éste último es un material multi-escala natural que ha sido optimizado para la transferencia de carga y otras aplicaciones biológicas, sin embargo, maximizando los procesos y afinando los protocolos, se están logrando productos muy competitivos y prometedores (Vijeandran & Vu-Thanh, 2021).

Este proyecto de investigación se centró en la búsqueda de una alternativa sostenible y ecológica para la producción de cuero tradicional. La pulpa del café, un subproducto de la industria cafetalera es abundante y en gran parte desaprovechada, lo que la convierte en un recurso atractivo para la investigación y el desarrollo de nuevos productos útiles. Como se describió en el párrafo anterior, se ha demostrado que es posible utilizar materias primas vegetales para hacer cuero vegetal. En este sentido se exploró la posibilidad de utilizar la pulpa del café, un material fibroso mucilaginoso rico en fibras, como materia prima para la creación de un cuero de alta calidad.

El objetivo principal fue investigar y desarrollar un proceso innovador que permita transformar la pulpa del café en un material que pueda competir en calidad y durabilidad con el cuero convencional; además de evaluar el impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales de producción de cuero y destacar sus ventajas en términos de sostenibilidad. Este proyecto no solo tiene el potencial de brindar oportunidades económicas a las comunidades agrícolas que producen café, al agregar valor a un subproducto que a menudo se desecha, sino que también podría ofrecer una solución eco-amigable para la industria textil.

Materiales y métodos

La metodología para llevar a cabo este proyecto de investigación sobre la creación de cuero a partir de la pulpa del café se dividió en dos paquetes de trabajo:

1. Investigación de procesos de transformación.

- Recopilación de datos y literatura: Revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la transformación de materiales vegetales en cuero sintético. Existen empresas que producen cuero a partir de pulpa de mango, una materia prima con características físicas y químicas similares a la pulpa de café (por ejemplo, FruitLeather en Holanda: <https://fruitleather.nl/>).
- Recopilación de datos sobre las propiedades químicas y físicas de la pulpa del café.
- Selección de muestras representativas de pulpa de café de diferentes orígenes y variedades para su posterior análisis y pruebas.
- Diseño y desarrollo de un proceso de transformación de la pulpa del café en cuero sintético, incluyendo la aplicación de tratamientos químicos y procesos físicos.
- Fabricación de prototipos de cueros de pulpa del café y ajustes de los protocolos: se recolectó la pulpa de café del beneficio húmedo de la finca La Cumplida en Matagalpa (productor = EXPASA), y de productores de las comunidades locales. La pulpa se trasladó a la planta agroindustrial de la UNAN Matagalpa (finca Buena Vista) donde se procedió a los ensayos de fabricación del cuero. Las diferentes pruebas y ensayos fueron desarrollados por estudiantes de Ingeniería Agroindustrial de IV y V año, bajo la supervisión de un ingeniero agroindustrial y de los investigadores.

2. Caracterización de propiedades.

La elaboración del cuero vegano de la pulpa de café requirió la evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del producto resultante, incluyendo flexibilidad, resistencia, durabilidad y apariencia. También se efectuó la comparación con cuero convencional para determinar su calidad y aplicabilidad en diferentes contextos. Y como plus, se pensó en un análisis de impacto ambiental, aunque solamente se realizaron comparaciones cualitativas someras en relación con la huella hídrica y emisiones de GEI.

Los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo esta iniciativa se describen a continuación: (1) Muestras representativas de pulpa de café de diferentes orígenes y variedades, a esto se le suma la fécula de maíz, glicerina (5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 60%), albumina de huevo (5%), pinzote de plátano y espadilla; (2) Reactivos químicos necesarios para los procesos de transformación, que incluyen cera, ácidos, bases, agentes de curtido, y otros productos específicos para el tratamiento de la pulpa. (3)

Materiales, equipos y suministros de laboratorio como moldes, blender, recipientes de vidrio, pipetas, probetas, centrífugas, agitadores magnéticos, autoclaves, marmitas, mezcladoras y otros requerimientos para llevar a cabo análisis químicos y físicos. (4) Equipos de transformación como trituradora, horno, prensa y máquinas de laminado y moldeado. (5) Equipos de prueba de calidad como máquinas de ensayo de tracción y flexión, así como equipos para pruebas de durabilidad y resistencia al desgaste.

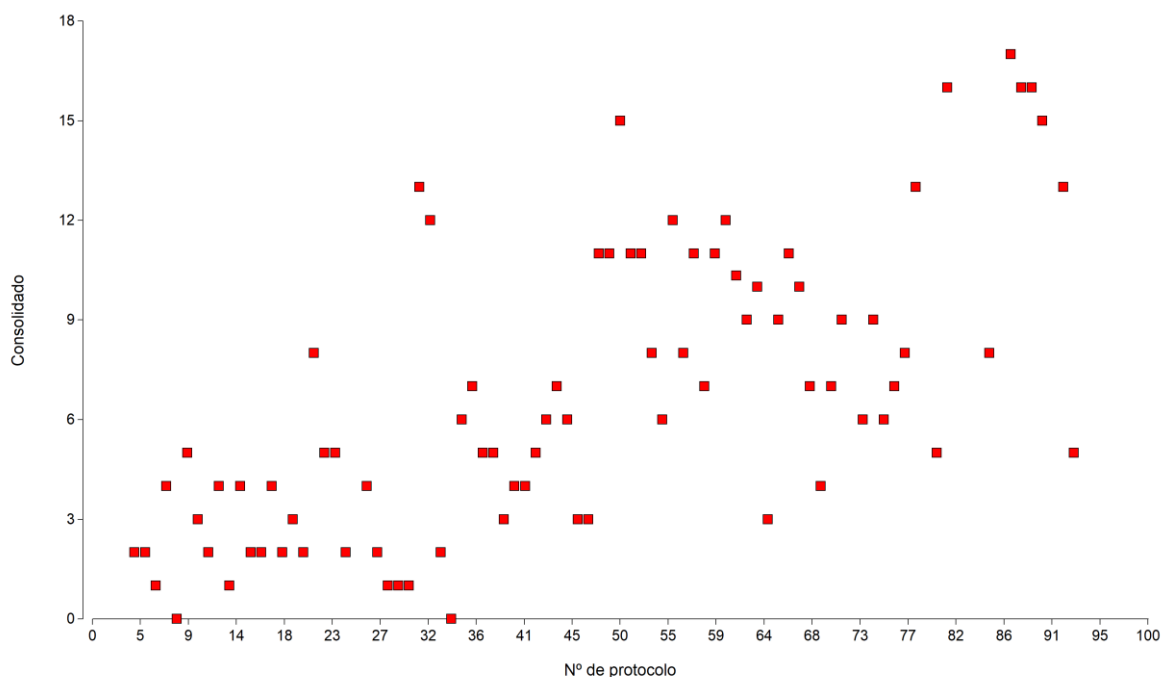
Resultados y discusión

Protocolos con mejores puntajes y las variables que influyeron.

El cuero convencional es un material duradero y flexible creado a partir de la piel de animales, principalmente piel de ganado bovino; no es un material textil, pero adquiere un uso significativo en este sector. La industria responsable justifica su explotación, afirmando que los animales se matan principalmente para la producción de carne, y aseguran que la piel puede crear un gran problema de contaminación, ya que debe ser quemada o enterrada. Esto ha llevado a la evolución de las grandes curtidoras para la producción de cuero, con la justificación de no fomentar la matanza de más animales, sino evitar el desperdicio de sus residuos y el deterioro al medio ambiente (Kesarwani *et al.* 2015). Por otro lado, como contra peso, se ha impulsado la producción de cuero vegano, como alternativa al cuero animal, pero con beneficios importantes asociados a favorecer el medio ambiente y disminuir la crueldad de los animales (Tewari *et al.* 2023). En ambos casos, y como todo producto desarrollado a nivel agroindustrial, a pequeña o gran escala, es necesario el diseño y validación de protocolos para lograr una presentación final que cumpla con todos los estándares de los consumidores. Para efecto de esto, en este proyecto se realizaron 85 protocolos, entre pruebas simples o réplicas, para alcanzar un producto con características potencialmente comparables al cuero convencional.

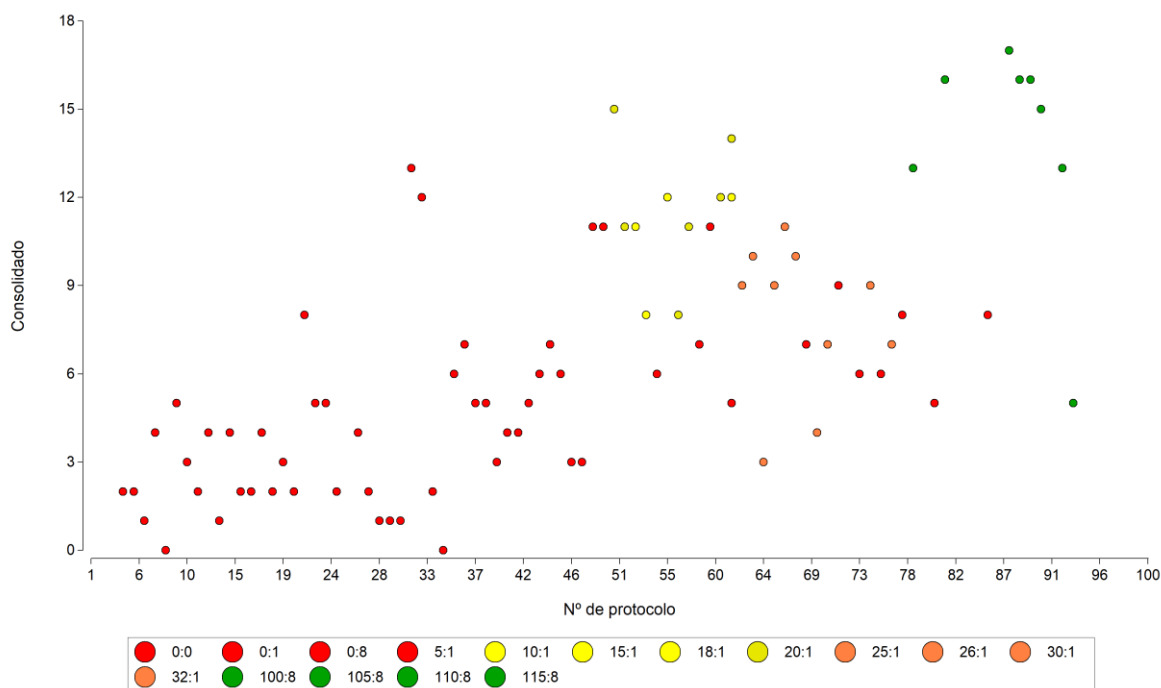
En la figura 1 se muestra la evolución de los protocolos para lograr un producto final. Para lograr esta información se consideraron, en conjunto, variables respuestas cualitativas (utilizando escalas) como presencia de grietas, si se pega o no el cuero al molde, resistencia, presencia de hongos, flexibilidad, aspecto y una nota general. A estos parámetros se le asignaron valores y la sumatoria de ellos fueron sometidos a consideración en este diagrama de puntos. Fácilmente se puede diferenciar que en los procesos iniciales los resultados no eran satisfactorios, con protocolos que, basados en el puntaje total de todas las variables, eran los más bajos, casi lo opuesto sucedió con los protocolos finales (incluyendo las réplicas), pudiendo afirmar que parámetros como la ausencia de grietas, mejor aspecto, mayor flexibilidad y mejor resistencia convirtieron a esta iniciativa como algo prometedor, algo que coincide con lo descrito por Meyer *et al.* (2021), quienes afirman que dicho cuero es una alternativa al desarrollado de la piel de animal, siendo más natural y amigable para el medio ambiente.

Figura 1. Evolución del cuero vegano a base de pulpa de café a lo largo del tiempo y cantidad de protocolos.



El cuero vegetal es un nuevo invento para el manifiesto de la moda sostenible y otras utilidades significativas. Se ha impulsado reproduciendo restos o cultivando células biológicas. En cualquiera de los casos, se deben desarrollar diferentes procesos y manipular variables, componentes o ingredientes para lograr un producto potencialmente aceptable en el mercado más diferenciado (Tran-Minh & Ngo-Ngan, 2021). En esta misma línea, para la elaboración del cuero a base de pulpa de café, se crearon diversos protocolos que incluyeron o excluyeron variables significativas para conformar un producto con cualidades potencialmente competitivas al cuero convencional. En la figura 2 se muestran los distintos protocolos y se compara la influencia de dos componentes claves al final del proceso: carboximetilcelulosa (CMC, en g) y espadilla (en g), en relación CMC:Espadilla. En este gráfico podemos observar que inicialmente, en ausencia de estos dos materiales, el cuero presentaba características poco prometedoras, logrando revertir los resultados cuando ya se incluyeron. Esto confirma la necesidad de agregar agentes espesantes, estabilizantes o aglutinantes como la CMC, o fibrosos como la espadilla para afinar las características del producto y hacerlo más competitivo ante los estándares demandados.

Figura 2. Influencia de la CMC y la espadilla las características físicas del cuero vegano a base de pulpa de café.



Fases y logros a lo largo del desarrollo de la iniciativa.

El proceso para la creación del cuero vegano siguió una secuencia de replicaciones y optimización de variables a lo largo de varios meses, resultados que describimos a continuación y que se muestran en la figura 3 y la tabla 1.

1. Formulación inicial (marzo): Se combinó pulpa de café con fécula de maíz y glicerina, utilizando secado natural. Los primeros protocolos incluyeron también almidón de yuca y cáscara de yuca.
2. Ajustes en Abril: Se observaron problemas de grietas en el material, lo que llevó a modificar la formulación. Se añadió albúmina a la mezcla y se mantuvo el secado natural.
3. Replicación y mejoras (mayo): Al ajustar la cantidad de glicerina y temperatura de secado, se obtuvieron resultados visuales y físicos satisfactorios, aunque aún era necesario mejorar la resistencia. Se incorporaron fibras para aumentar la durabilidad.
4. Optimización final (Junio y Julio): El uso de espadilla mejoró significativamente la resistencia. Se logró la producción de una cartera rústica, con buena estética y resistencia aceptable.
5. Replicaciones y ajustes (Agosto – Octubre).

Figura 3. Fotografías de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo.



Tabla 1. Propiedades del cuero.

Propiedad	Resultados
Resistencia	Mejora significativa con la incorporación de fibras de espadilla.
Estética	Buena textura y apariencia.
Problemas de grietas	Se mitigaron con ajustes en la cantidad de glicerina y fibras adicionales.
Impacto de la temperatura	Secado a 40°C redujo la proliferación de hongos y mejora la estabilidad.

Propiedad	Resultados
Fragilidad inicial	Inicialmente frágil; mejorada con la adición de fibras y ajustes en la proporción de glicerina.
Control de humedad	El secado natural fue insuficiente, mejorado con secado en bandejas y horno.
Proliferación de hongos	Resuelto al aumentar la temperatura de secado por encima de 60°C.

Comparación del cuero vegetal (a base de pulpa de café) y el cuero animal.

Huella Hídrica y productos químicos.

La cuantificación de recursos naturales para la elaboración del cuero se debe considerar como factor clave, cuando se quiere medir la huella hídrica y el impacto que se genera en el medio ambiente; en tal caso, las industrias curtidoras de cuero animal consumen cantidades considerables de agua. Sin embargo, como lo describen Tariq *et al.* (2025), las iniciativas de cuero vegetal, al contener humedad natural y no liberar sustancias vinculadas al humor animal, la utilización de agua para los procesos resulta significativamente menor. Esta situación es semejante a lo encontrado con el cuero vegano de pulpa de café, maximizando los procesos y aprovechando el agua residual de la pulpa.

En relación con la utilización de los insumos químicos y la emisión de GEI por parte de la industria del cuero convencional, se conoce el uso de una variedad de productos, incluyendo cromo y otros agentes curtientes. Aunque las curtidorías modernas han reducido significativamente el uso de sustancias tóxicas como mercurio, arsénico, fenol y formaldehído, aún se utilizan ciertos químicos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener efectos negativos en el medio ambiente (Bhavaya *et al.* 2019). Por otro lado, la cría de ganado, fuente principal de pieles, es responsable de una parte significativa de las emisiones globales de metano, un gas de efecto invernadero potente. Además, las operaciones de curtido y acabado del cuero pueden liberar compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes al aire (IFC, 2007). En relación con lo descrito, el cuero vegano de pulpa de café sobresale con ventaja, ya que el uso de productos químicos es mínimo, y las emisiones de GEI es casi nula, al no depender de pieles que provienen de la actividad ganadera, ni requerir de procesos sofisticados que liberen gases no deseados a la atmósfera.

Comparación de las características físicas

Se llevaron a cabo una serie de pruebas de comparación con el cuero animal tradicional, para evaluar las distintas propiedades y el desempeño de ambos productos tomando en cuenta las siguientes variables: grosor, resistencia a la tensión, flexibilidad, durabilidad, resistencia al calor, al desgaste y al agua. Los resultados se describen en la tabla 2. Si bien los prototipos elaborados demuestran la viabilidad del cuero vegetal a base de pulpa de café, es necesario reconocer que aún existen

limitaciones en términos de resistencia y flexibilidad. Estos aspectos requieren una investigación más profunda, explorando la adición de refuerzos naturales, así como la optimización del proceso de secado. Aunque se requieren ajustes con respecto a las propiedades antes mencionadas, esta investigación sienta las bases para el desarrollo de un material innovador que representa una alternativa del cuero animal.

Tabla 2. Pruebas para comparar el cuero vegano a base de pulpa de café con el cuero animal.

N°	Prueba	Método / instrumento	Cuero animal	Cuero vegano	Observación
1	Grosor	cinta milimétrica	2 mm	< 1 mm	
2	Resistencia a la tensión	Balanza	>245 N	128.51 N	Al utilizar la balanza se aplicó carga hasta la ruptura del material lo que dio como resultado 13.10 kg, al convertir esta medida a Newtons (N), se obtuvo un valor de 128.51 N. 1 kg = 9.81 N.
3	Flexibilidad (suavidad)	Al tacto	Alta	moderada	
4	Durabilidad	días/meses/años	años	meses	
5	Resistencia al calor	Segundos/minutos	1 minuto / 10 segundos	20 segundos	Se utilizó una pistola de calor que emitiera una temperatura de 450 a 600°C, para evaluar el tiempo que tardada cada material para evidenciar indicios de deterioro.
6	Permeabilidad (resistencia al agua)	días/meses/años	años	días	
7	Resistencia al desgaste (abrasión)	Segundos/minutos	16 segundos	14 segundos	Se utilizó una amoladora de banco eléctrica y se midió el tiempo que tardó cada material hasta presentar los primeros indicios de desgaste.

Conclusión

La pulpa de café puede ser transformada en un material con propiedades similares al cuero convencional, aunque con diferencias en resistencia mecánica, flexibilidad y durabilidad. La investigación ha permitido optimizar el proceso de fabricación, logrando mejoras significativas en la estabilidad estructural del material, además de reducir problemas iniciales como la formación de hongos y la retención de humedad.

En cuanto a la comparación con el cuero animal, los análisis realizados indican que el cuero de pulpa de café tiene una menor resistencia a la tensión y al calor, así como una menor durabilidad, estimada en aproximadamente tres meses. Sin embargo, presenta una ventaja ambiental significativa, al minimizar el uso de agua y productos químicos en su producción, reduciendo el impacto ecológico asociado con la industria del cuero tradicional.

En conclusión, este proyecto no solo contribuye a la valorización de un subproducto agrícola, sino que también ofrece una alternativa potencialmente viable y ecológica frente al cuero animal. Aún existen retos por superar para mejorar la resistencia y la funcionalidad, pero los avances logrados han despertado interés en diversos sectores industriales y académicos. La continuidad de la investigación y la obtención de recursos adicionales serán clave para perfeccionar este producto y evaluar su posible escalabilidad en la industria del cuero sostenible.

Bibliografía

- Bhavya, V., Raji, P., Selvari, J., Samrot, A., & Javad, P. (2019). Leather procesing, it is effects on environment and alternatives of croming tanning. *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, 69-79.
- IFC. (30 de Abril de 2007). Guia sobre medio ambiente, salud y seguridad. Obtenido de <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/2007-general-ehs-guidelines-es.pdf>
- Kesarwani, P., Jahan, S., & Kesarwani, K. (2015). A review on leather procesing. *International Journal of Applied Research*, 1(9), 997-982.
- Meyer M, D. S. (2021). Comparison of the technical performance of leather, artifcial leather, and trendy alternatives. *Coatings*, 1-15.
- Pavani, C., Rao, P., Vishnu, P., Raja, H., & Sriram, N. (2024). Vegan Leather from Agricultural Waste: Exploring Sustainable and Cruelty-Free Alternatives. *From Waste to Wealth. Springer*, 951-964. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-99-7552-5_42
- Tariq, S., Moazzam, M., Ali, A., Khan, M., S, U. M., Mughal, Y., . . . Ayub, K. (2025). Reducing the Environmental Impact of Leather Production Assessing the Potential of Cactus-Based Vegan Leather. *IJIST, Special Issue*, 68-78.
- Tewari, S., Reshamwala, S., Bhatt, L., & Kale, R. (2023). Vegan leather: a sustainable reality or a marketing gimmick? *Environmental Science and Pollution Research*(31), 3361–3375. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-023-31491-8>
- Tran-Minh, N., & Ngo-Ngan, H. (2021). Vegan Leather: An Eco-Friendly Material For Sustainable Fashion Towards Environmental Awareness. *AIP Conference Proceedings* 2406, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1063/5.0066483>
- Vijeandran, K., & Vu-Thanh, T. (2021). Synthesis of vegan leather using plant-based substrates: a preliminary study. *Defect and Diffusion Forum*(411), 57-66. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.411.57>

Anexos

Materia prima del cuero vegetal / pulpa de café



Flexibilidad del cuero a base de pulpa de café



Flexibilidad del cuero animal



Cuero a base de pulpa de café sometido a calor



Cuero animal sometido a calor



Productos elaborados con cuero a base de pulpa de café

