

DEVELOPMENT OF VEGETABLE ECO LEATHER FROM THE USE OF MANGO WASTE IN A STATE OF DECOMPOSITION

Sandra Mileth Lago Padilla¹, Maria Camila Amaya Badillo², Yazmin Hernández Álvarez³, German Sanchez Vargas⁴, Ramon Emilio Rincón Quintero⁵, Javier Cruz Herrera⁶

¹. Docente Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia,

². Docente Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia

³. Coordinadora de Programa Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia,

⁴. Docente Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia.

⁵. Docente Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia.

⁶ Docente Universidad Popular del Cesar, Aguachica Cesar, Colombia.

ABSTRACT

Mango-producing countries face a significant environmental challenge due to the limited options for utilizing the organic waste generated by these crops and its improper disposal. In this context, this research aimed to develop plant-based eco-leather from decomposing mango waste as an alternative to add value to organic waste and promote the bioeconomy and the circular economy. The methodology was based on a quantitative approach, using applied and descriptive research with an experimental and exploratory design. The results demonstrated outstanding characteristics such as flexibility, homogeneity, and improved surface texture after proportionally adjusting all the substances in the formula, resulting in a biomaterial with optimal characteristics for handling. The research revealed that utilizing decomposing fruits like mangoes not only reduces the amount of organic waste sent to landfills but also allows for the generation of sustainable materials with significant potential for application in various sectors, such as leather goods and fashion, which rely on traditional leather. Finally, the study concluded that this biomaterial could become a promising strategy for strengthening the bioeconomy and the principles of the circular economy by valorizing decomposing mango waste.

KEYWORDS: Eco-leather, decomposing mango, biomaterial, bioeconomy, circular economy.

¹ Sandra Mileth lago padilla es Profesora del programa de Administración en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia slago@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3643-230X>

² Maria Camila Amaya Badillo es Profesora del programa de Administración en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia mcamilaamaya@unicesar.edu.co , <https://orcid.org/0000-0002-1232-792X>

³ Yazmin Hernández Álvarez es Coordinadora de programa de Administración en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia yhernandez@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3643-230X>

⁴ German Sánchez Vargas es Docente del programa Administración en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia germansanchez@unicesar.edu.co , <https://orcid.org/0000-0002-1658-5790>

⁵ Ramon Emilio Quintero es Docente del programa de Agroindustria en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia rinconquinteroramonemilio@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0009-0001-6091-1813>

⁶ Javier Enrique Cruz Herrera es docente de Administración en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, Aguachica Colombia, jenriquecruz@unicesar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5328-9096>

INTRODUCCIÓN

En latino América, en países como Perú, Brasil y México, su principal sector económico es la agroindustria y frutos como el mango ocupa un lugar destacado debido a su amplia producción y consumo. No obstante, al mismo tiempo representa una fuente importante de generación de residuos orgánicos derivados de la producción y transformación, teniendo en cuenta que una cantidad considerable del fruto como el mango se pierde durante los procesos de cosecha, transporte, almacenamiento y transformación industrial o no alcanza los estándares comerciales, originando grandes cantidades de residuos como pulpa, cáscara y semillas. Salazar, et al. (2023). Los residuos producidos por el mango, cuando no son aprovechados completamente, son dispuestos en rellenos sanitarios o abandonados en diferentes áreas agrícolas, que, aunque favorecen procesos de fermentación, al mismo tiempo incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero, la proliferación de vectores, la contaminación del suelo y las fuentes hídricas.

Según los autores Matharu et al., (2016) y Sharma, (2026), frutos como el mango es una fruta se convierte en una materia prima con un alto potencial para el desarrollo de productos de alto valor agregado y productos como biomateriales sostenibles gracias a su alto porcentaje en celulosa, lignina, pectinas, hemicelulosa y compuestos fenólicos. No obstante, en América Latina, las investigaciones sobre biomateriales capaces de sustituir el cuero tradicional aún son elementales, limitándose únicamente a su aprovechamiento principalmente a la elaboración de compost, para alimentar animales y biocombustibles.

Por lo anterior, este problema trae consigo problemas ambientales, como pérdidas económicas bastantes significativas. Por un lado, aumenta los impactos relacionados con su disposición inadecuada y la acumulación de residuos orgánicos, por otro lado, se conserva la dependencia del cuero tradicional proveniente de los animales y productos como el polímero sintético generados con el petróleo y sustancias contaminantes, restringiendo la implementación de nuevos modelos como la bioeconomía y economía circular.

En Colombia el panorama no es diferente; en departamentos como Magdalena, Tolima, Cesar, Santander, Atlántico y Bolívar, el mango es la fruta importante para sus economías y para la sociedad, convirtiéndolo como un cultivo representativo del país, teniendo en cuenta que es habitual encontrarlos sembrados de forma muy frecuente en espacios rurales y urbanos. Pese a ello, una parte considerable de estos frutos producidos se pierde por sobre maduración, deficiencias en la cadena de comercialización, sobreproducción que termina en descomposición, generando contaminación ambiental por los altos volúmenes de biomasa con un pobre aprovechamiento y transformación industrial. Gómez et al. (2020).

En el país, muy a pesar de que se viene creando normatividad que minimice la problemática y que fomente la economía circular. Al igual que se vienen impulsando investigaciones enfocadas en fomentar el aprovechamiento de estos residuos para la producción de alimento para animales, extracción de antioxidantes y obtención de pectinas, aún son muy pocas las investigaciones y los estudios orientados a la obtención de biomateriales con propiedades bastante similares al cuero para aplicaciones en la industria de la moda, el calzado y la marroquinería. Salazar et al. (2023), en consecuencia, la diversificación tecnológica es limitada, provocando que esta biomasa con alto potencial y valoración se desaproveche y sea vista únicamente como un desecho, perdiendo oportunidades para fortalecer la bioeconomía del país y al mismo tiempo reducir la contaminación ambiental y generar nuevos emprendimientos basados en materiales sostenibles.

En el contexto local, el departamento del Cesar es característico en su producción agrícola regional y por su comercialización en plazas de mercado del mango y en tiempos de cosechas, se producen altas cantidades del fruto que no alcanzan a ser comercializadas ni consumidas, sobre madurándose y descomponiéndose, perdiendo su valor comercial. Generalmente, estos residuos son arrojados mediante disposición a cielo abierto o enterramiento, produciendo la generación de vectores y emisiones derivadas de la degradación de la materia orgánica

Al mismo tiempo, la región enfrenta el desafío de fortalecer procesos de innovación y transformación agroindustrial que permitan incrementar el valor agregado de sus recursos naturales mediante estrategias alineadas con la economía circular y la bioeconomía. Sin embargo, son escasas las investigaciones orientadas al desarrollo de biomateriales sostenibles elaborados a partir de residuos de mango que puedan sustituir parcial o totalmente materiales convencionales utilizados por la industria manufacturera.

Asimismo, el departamento del Cesar, al contar con una alta producción de cultivos de mango y contar con él como parte del paisaje rural y urbano, especialmente en instituciones públicas como colegios, universidades, hospitales, entre otras, agudiza el problema; se ven obligados a enfrentar diferentes retos para el fortalecimiento e implementación de procesos innovadores, al aprovechamiento y transformación agroindustrial que conlleven generar valor de este producto a través de estrategias como la bioeconomía y economía circular. Pese a ello, no se evidencian procesos de generación de conocimiento en esta área, enfocados a desarrollar productos como cuero autosostenible producido a partir de residuos o el mango en estado de descomposición que puedan

reemplazar parcial o completamente los materiales tradicionales utilizados por el sector de manufactura. En este sentido, queda en evidencia la existencia de vacíos científicos y tecnológicos orientados a estudiar la viabilidad de transformar el mango en estado de descomposición en un material que reúna propiedades físicas y mecánicas adecuadas para aplicaciones industriales como el biomaterial tipo cuero, contribuyendo paralelamente a la disminución de la contaminación ambiental, al aprovechamiento de residuos agroindustriales y al fortalecimiento de procesos sostenibles de la innovación.

REFERENTES TEORICOS

El mango, tiene una larga historia de cultivo y es originario del sur de Asia, se cree que fue cultivado hace aproximadamente cinco mil años en la India, donde todavía es un producto agrícola senice. Bullard (2023). El mango es una fruta dulce tropical, conocida por su diversidad culinaria y en la gastronomía. Esta fruta es una de las más cultivadas y hace parte del género mangifera, se conoce comúnmente como mango común. Por ello, se convierte en la fruta de gran relevancia en la agricultura global, siendo la quinta más cultivada. No obstante, en tiempo de cosecha, se generan importantes cantidades de residuos orgánicos que representa entre 35% y 60 % de su peso total, conformados por su cáscara, pulpa y semillas, dependiendo de su proceso de transformación y de la variedad. Matharu et al, (2016).

Los residuos generados por el mango contienen elevadas cantidades de compuestos fenólicos para el aprovechamiento residual, a través de las propiedades estructurales que ofrece, que son de gran interés para la elaboración de materiales biodegradables, entre las que están la fibra y la celulosa. Sharma et al. (2023). La presencia de elementos esenciales para la industria y su potencial para formar películas y estructuras con algunas condiciones mecánicas apropiadas para desarrollar productos autosostenibles han traído consigo un creciente interés por investigar sobre este fruto, haciendo aportes a la economía circular y bioeconomía.

1. Biomateriales

Los biomateriales han surgido como respuestas a los diferentes problemas ambientales, con llevando a desarrollar diferentes investigaciones enfocadas a crear productos a partir de productos vegetales como eco cuero que surgen a partir de residuos ricos en celulosa. Jones et al, (2020). En ese orden de ideas, el autor Hollinger (2012) proporcionó la definición más actual de biomateriales, describiéndolos como "una sustancia (distinta a un medicamento) o una combinación de sustancias naturales o sintéticas que pueden ser utilizadas durante un periodo determinado como parte de un sistema que busca sanar, optimizar o sustituir una función, tejido u órgano del cuerpo.

En la misma línea, la definición más empleada de biocompatibilidad fue presentada en el diccionario Williams de biomateriales en 1999, donde se define los biomateriales como "la capacidad de un material para provocar una respuesta inmune adecuada en una circunstancia concreta". Williams, (1999/2012) A pesar de que esta definición es transitoria, hace referencia a cómo los biomateriales interactúan en su ambiente biológico más allá de simplemente desempeñar la función de diseño. Desde una perspectiva investigativa, esto enfatiza la necesidad de crear biomateriales que ofrezcan una respuesta inmune apropiada.

2. Economía circular

La Estrategia Nacional de Economía Circular toma como punto de partida la definición sugerida por la fundación Ellen McArthur, ya que es utilizada en proyectos similares en otras naciones y es reconocida a nivel académico internacional, a pesar de que no hay una única definición ni existen visiones dispares acerca de qué consiste la economía circular. Es entendida para los propósitos de la Estrategia Nacional como un modelo de producción y consumo que fomentan la eficacia en el empleo de recursos como materiales, agua y energía, considerando la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de flujos materiales, la ampliación del tiempo útil mediante la adopción de innovaciones tecnológicas, colaboraciones y alianzas entre actores y la promoción de patrones comerciales que se alinean con las bases del desarrollo sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019).

3. Bioeconomía

La CEPAL estudia la bioeconomía a partir de sus componentes constitutivos, que van desde los insumos biológicos y los procesos de producción hasta las técnicas y tecnologías requeridas para las industrias que las incluyen en sus procesos. Además, Los bio insumos son la totalidad de seres vivos, biomasa y la información genética que poseen. Los procesos se fundamentan en el biomimetismo, o sea, en la imitación de los procesos biológicos en los procesos de producción, el diseño de sistemas socio-tecnológicos y la innovación sustentable que toma inspiración en la naturaleza. La CEPAL (2018). De igual forma, Además, la bioeconomía incluye el concepto de economía azul, que se centra en innovaciones fundamentadas en principios biológicos, químicos y físicos para disminuir el consumo energético y los residuos generados durante los procesos de transformación.

Lo anterior por medio de la convergencia de tecnologías digitales (Industria 4.0), nanotecnología y biotecnología.

Por otro lado, la bioeconomía, principalmente, respalda el concepto de la bio-refinería, que se fundamenta en las actividades de una refinería convencional, pero empleando procesos e insumos biológicos. Este modelo produce conjuntamente bioenergía y bio productos mediante la optimización del aprovechamiento de biomasa cultivada y de subproductos y residuos. Otros términos relacionados son la simbiosis industrial, los ecosistemas de la industria y la economía circular. La CEPAL (2018). En el mismo contexto, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. (OECD,) bioeconomía plantea el aprovechamiento de recursos biológicos renovables de forma eficiente a través procesos de innovación científica y tecnológica enfocados hacia la generación de productos de alto valor agregado. OECD, (2018). Bajo este enfoque, los residuos agrícolas dejan de representar un problema de contaminación ambiental para convertirse en insumos estratégicos dentro de cadenas productivas sostenibles.

METODOLOGÍA

Partiendo de que durante la investigación se proporcionó un estudio numérico de los datos, como las cantidades de mangos en estado de descomposición para la transformación en biomateriales como eco cuero. Asimismo, se establecieron las propiedades químicas y físicas necesarias que se deben obtener del mango en estado de descomposición para logra la simulación del eco cuero. Por ello, esta investigación se enmarcó bajo el enfoque cuantitativo, acompañado de un proceso de análisis estadísticos para evaluar la viabilidad como producto sustituto del cuero tradicional. Hernández, et, al. (2023). Por otro lado, el tipo de investigación fue aplicada y descriptiva, considerando que se busca aportar una solución a través del aprovechamiento de residuos agrícolas para lograr obtener un biomaterial como el eco cuero y describir las variables de estudio de forma detallada.

El diseño de investigación es experimental teniendo en cuenta que se van a modificar variables en el proceso de diseño y elaboración de los prototipos que se generen en el proceso de investigación y exploratorio como ya se mencionado anteriormente es un proceso poco estudiado, permitiendo obtener datos precisos de la situación actual como la cantidad mangos en descomposición y la disposición de residuos. Se llevo de la siguiente forma: Inicialmente se elaboraron tres pruebas experimentales en los que únicamente se modificó la cantidad de mango y, posteriormente, se evaluaron los efectos del escalamiento de la formulación sobre el biomaterial obtenido.

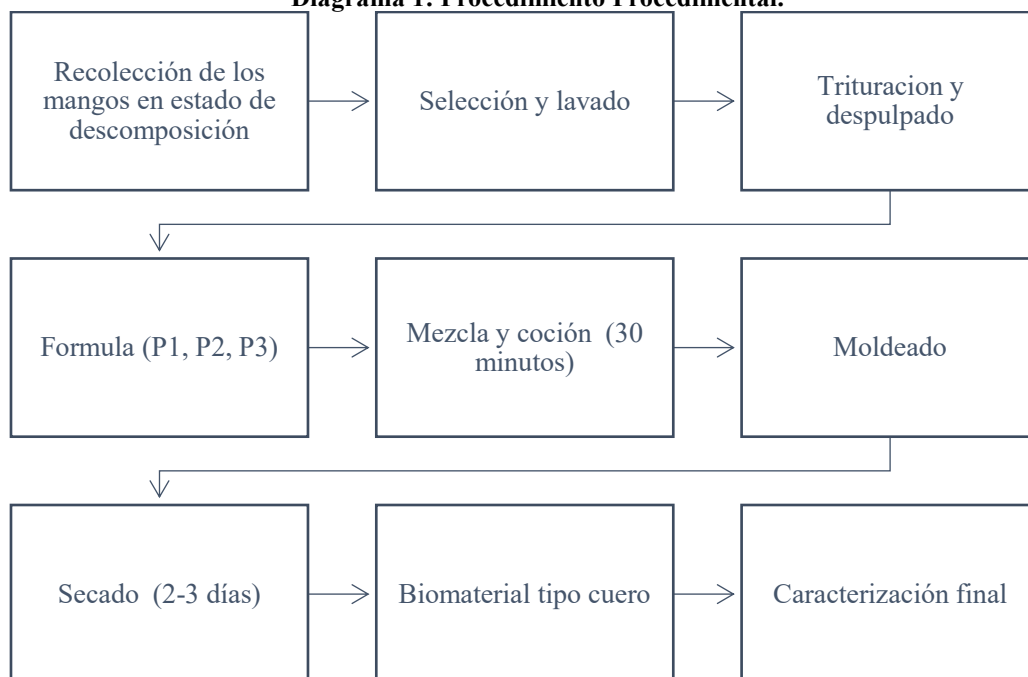
Tabla 1. Formulas utilizadas para la elaboración del biomaterial tipo cuero.

Tratamiento	Mango (kg)	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Vinagre blanco (mL)	Agua (L)
P1	4	125	30	90	2
P2	8	125	30	90	2
P3	8	250	60	120	4

Fuentes: Elaboración propia.

En el procedimiento de la prueba uno (P1) se utilizó la formula base que se inda en la tabla 1. En el procedimiento de la prueba 2 (P2) para analizar el efecto del incremento de la materia prima sobre las propiedades del biomaterial se duplicó únicamente las cantidades de mango en estado de descomposición. Por último, para el procedimiento 3 (P3) se duplicaron proporcionalmente todos los componentes de la formula con el fin de evaluar el comportamiento del biomaterial durante el escalamiento del proceso.

Diagrama 1: Procedimiento Procedimental.



Fuentes: Elaboración propia.



Imagen 1 Procedimiento

Tabla 2. Variables analizadas

Variables independientes	Cantidad de mango en estado de descomposición	Variables dependientes	Propiedades del biomaterial obtenidas
Niveles evaluados		Flexibilidad.	
Prueba 1: 4 kg.		Formación de la Lámina	
Prueba 2: 8 kg.		Integridad Estructural	
Prueba 3: 12 kg.		Textura.	
		Homogeneidad.	
		Espesor.	

	Resistencia al doblado. Apariencia superficial
--	---

Fuentes: Elaboración propia.

RESULTADOS

En el desarrollo del proceso experimental evaluado mediante tres pruebas, dieron como resultado un biomaterial con aspectos muy parecidos al cuero vegetal. En cada uno de los procesos que hicieron parte del procedimiento, se pudo establecer los factores cambiantes de un proceso a otro, como es el caso del proceso de cocción: la mezcla adquiere una densidad homogenizada gracias al proceso de gelatinización, que surge con la aplicación del almidón y la glicerina, que actúa como generador de efecto plastificante. Después se procedió con el proceso de secado realizado durante dos o tres días bajo temperatura ambiente, que permitió que se formaran en forma de láminas con diferentes características físicas según la fórmula utilizada.

De igual forma, se pudo concluir que la consistencia de la mezcla y el comportamiento del material durante el secado se modifican dependiendo de la cantidad de mango en estado de descomposición. En la prueba P1, donde su insumo principal fue (4 kg) de mango en estado de descomposición, tuvo como resultado una lámina delgada con poca flexibilidad y, durante la manipulación, presentó algunas fallas y fragilidad. En la prueba P2, la cantidad de mango en descomposición utilizado fue (8 kg); se pudo observar una mayor flexibilidad y un mejoramiento en la secuencia de la lámina. No obstante, se evidenció que aún persisten unas pequeñas alteraciones superficiales. Para finalizar, en la prueba P3, donde se escalaron los componentes de la fórmula de manera proporcional, se logró mejorar el comportamiento físico del biomaterial que se produjo. En este sentido, la lámina del biomaterial presentó mejor cohesión entre los componentes, mejor y mayor uniformidad y una textura similar al cuero vegetal, permitiendo que su manipulación no presente fracturas evidentes.

Tabla 2. Resultados de la evaluación cualitativa

PROPIEDAD	P1	P2	P3
FORMACIÓN DE LA LÁMINA	Media	Buena	Muy buena
HOMOGENEIDAD SUPERFICIAL	Baja	Media	Alta
FLEXIBILIDAD	Baja	Media	Alta
INTEGRIDAD ESTRUCTURAL	Presentó fisuras durante el secado	Menor presencia de fisuras	Lámina continua sin fisuras visibles
FACILIDAD DE MANIPULACIÓN	Baja	Buena	Muy buena
TEXTURA	Rugosa y poco uniforme	Más uniforme	Uniforme y similar al cuero vegetal
ESPESOR DE LA LAMINA	Delgado	Medio	Mayor espesor y mejor consistencia
APARIENCIA SIMILAR AL CUERO	Regular	Buena	Muy buena

Fuentes: Elaboración propia.



Imagen 3 Biomaterial P2



Imagen 4 Biomaterial P3

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Luego de llevar el procedimiento experimental, a través de las tres pruebas realizadas, se pudo concluir que, dependiendo de la formula, las características físicas del producto final cambian considerablemente, lo que significa que existe una influencia entre la formulación y el resultado final del producto que se quiere, como el eco cuero. De igual forma, cuando se incrementan las cantidades del mango en estado de descomposición, logra obtener un aumento de la cantidad por la disponibilidad de este material orgánico con propiedades específicas como fibras naturales y glucógenos, beneficiando la constitución de una estructura más continua. A pesar de esto, la mejora más significativa del proceso experimental, se evidenció cuando se aumentan la materia prima como el mango y proporcionalmente se aumentan las demás sustancias de la formula, como sucedió en la prueba P3.

En ese orden de ideas, los resultados son consistentes con el aporte de los autores por Matharu et al. (2016), quienes indican que los residuos de mango conforman una fuente importante de biopolímeros, con un gran potencial para la fabricación de productos o materiales sostenibles. De igual forma, los autores Salazar et al. (2023) resaltan que actualmente existen diferentes alternativas factibles a partir de la obtención de productos de alto valor agregado dentro de los principios de la economía circular con el aprovechamiento de residuos de mango en descomposición.

En la prueba P3, se observó la mayor flexibilidad y homogeneidad y pudo adjudicársela al equilibrio logrado entre el material orgánico, en este caso el mango en descomposición, y las sustancias funcionales de la fórmula. Mientras la glicerina funciona como acción plastificante, el almidón actúa como agente formador de película, mejorando su capacidad de impermeación sin fisura y sin fracturarse. Asimismo, disminuyendo la rigidez del material. Varios estudios sobre biopelículas y biomateriales biodegradables han sido reportados como casos exitosos. Azeredo et al. (2019). Por otro lado, desde un enfoque ambiental, los resultados son coherente con la estrategia de economía circular fomentada por el gobierno Nacional, a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, buscando convertir los residuos en un insumo con valor agregado. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. AGROSAVIA. (2025). Manual de transformación de biomasa residual en productos agroindustriales sostenibles. Mosquera: AGROSAVIA.
2. Altendorf, S. (2019). Major tropical fruits market review 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/ca5692en/ca5692en.pdf>
3. Azeredo, H. M. C., et al. (2019). Biopolymers for biodegradable films. Food Hydrocolloids.
4. Cárdenas, D., & Becerra, A. (2022). Aprovechamiento de residuos orgánicos para la elaboración de compost en instituciones educativas del Caribe colombiano. Universidad del Atlántico.
5. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL. (2018). Bioeconomía en América Latina y el Caribe: Contexto global y regional y perspectivas. Santiago de Chile. ISSN 1680-8754 (versión electrónica).

6. Díaz, L. Y. S., & Uceda, H. A. G. (2022). Análisis de estudios de residuos sólidos orgánicos y su reutilización a través del proceso de valorización. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
7. Ellen MacArthur Foundation. (2014). Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chains. Ellen MacArthur Foundation.
8. Ellen MacArthur Fundación (2013). Hacia la economía circular: Fundamentos económicos y empresariales para una transición acelerada. Ellen MacArthur Fundación.
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). FAOSTAT Crops and Livestock Products Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
10. Hollinger, J. O. (Ed.). (2012). An Introduction to Biomaterials (2nd ed.). CRC Press.
11. González, P., & Ramírez, L. (2021). Gestión ambiental universitaria: estrategias para reducir residuos orgánicos en campus educativos. *Revista Educación Ambiental Colombia*.
12. González, R., & Pérez, D. (2021). Aprovechamiento de residuos orgánicos: Estrategias para la economía circular y la sostenibilidad ambiental. Universidad de La Salle.
13. Gómez-Peña, G. R., Guzmán-Nariño, O. F., & Burbano-Caicedo, I. (2020). Alternativa biotecnológica para suplementación bovina mediante ensilado de mango en el departamento del Atlántico, Colombia. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 42–57.
14. Matharu, A. S., Houghton, J. A., Lucas-Torres, C., & Moreno, A. (2016). Acid-free microwave-assisted hydrothermal extraction of pectin and porous cellulose from mango peel waste – Towards a zero waste mango biorefinery. *Green Chemistry*, 18, 5280–5287.
15. Mango. (s. f.). En EBSCO Research Starters. EBSCO Information Services. Recuperado el 17 de julio de 2026, de EBSCO Research Starters – Mango
16. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019-Final.pdf>
17. Ramírez, P., & Sánchez, J. (2020). Estrategias de sostenibilidad en las cadenas de suministro: Enfoque hacia la economía circular en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
18. Salazar-Sánchez, M. R., & Solanilla-Duque, J. F. (2023). Tendencias en el aprovechamiento de residuos de mango para la obtención de materiales no alimentarios. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria.
19. Torres, L., & Paredes, M. (2021). Innovación y sostenibilidad: prácticas de economía circular en Colombia. Universidad de los Andes
20. Osorio-Delgado, M. A., Henao-Tamayo, L. J., Velásquez-Cock, J. A., Cañas-Gutiérrez, A. I., Restrepo-Múnera, L. M., Gañán-Rojas, P. F., Zuluaga-Gallego, R. O., Ortiz-Trujillo, I. C., & Castro-Herazo, C. I. (2017). Aplicaciones biomédicas de biomateriales poliméricos. *DYNA*, 84(201), 241–252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.60466>
21. Yahia, E. M. (Ed.). (2019). Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02477-8>
22. Williams, D. F. (1999). The Williams Dictionary of Biomaterials. Liverpool University Press.