



ARTICULO REVISIÓN

TENDENCIAS EN EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE MANGO PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES NO ALIMENTARIOS

TRENDS IN THE USE OF MANGO WASTE FOR THE PRODUCTION OF NON-FOOD MATERIALS

* *Salazar-Sánchez Margarita del Rosario*¹, *Solanilla-Duque José Fernando*²

¹ Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca. <https://orcid.org/0000-0002-3636-2922> .

Correo electrónico: mdsalazar@unicauca.edu.co

² Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca. <https://orcid.org/0000-0001-6664-9134>

4, Correo electrónico: jsolanilla@unicauca.edu.co

Recibido: 15 febrero de 2023; Aceptado: 15 julio de 2023

RESUMEN

El mango (*Mangifera indica*) es una fruta tropical ampliamente consumida en todo el mundo, lo que conlleva a la generación significativa de residuos en la industria. Estos residuos, en su mayoría desechados, son utilizados para la obtención de alimentos secundarios como pulpas y jugos, ofreciendo un potencial inexplorado para la obtención de biomateriales de alto valor. Este artículo analiza las tendencias actuales del aprovechamiento de residuos del mango para la producción de biomateriales entre los cuales están los bioplásticos, compuestos bioactivos y nanomateriales. Además, se destaca la importancia de la interdisciplinariedad entre las cadenas agroindustriales y la ciencia de materiales.

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia Margarita Salazar E-mail: mdelrosariosalazar@unicesar.edu.co

Palabras clave: Aprovechamiento, Coproducto, Mangifera indica.

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica*) is a tropical fruit widely consumed worldwide, leading to significant waste generation in the industry. These residues, mostly discarded, are used to obtain secondary foods such as pulps and juices, offering an unexplored potential for obtaining high-value biomaterials. This article analyses current trends in the use of mango waste for the production of biomaterials, including bioplastics, bioactive compounds and nanomaterials. It also highlights the importance of interdisciplinarity between agro-industrial chains and materials science.

Key words: Co-Product, Utilisation, *Mangifera indica*.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de mango ha aumentado, de forma constante, en las últimas décadas, aproximándose a 10 millones de toneladas (Singh et al., 2023). Esta producción, ha generado una gran cantidad de residuos, tales como cáscaras y semillas. También se destaca, el descarte de frutas de baja calidad que no son comercializadas ni aprovechadas en la cadena de suministro agroindustrial y que representan el 30 al 60% de pérdidas poscosecha (Sharma et al., 2022). A medida que la preocupación por la sostenibilidad y la gestión de residuos aumenta, se ha

producido un cambio hacia la exploración de enfoques innovadores para la utilización de estos residuos del mango en la producción de biomateriales. En este contexto, investigadores como Choudhary (2023) han destacado la problemática ambiental de los residuos agroindustriales y la falta de desarrollos y procesos de innovación para la utilización de estos residuos. Por lo tanto, el aprovechamiento de semillas, como la del mango, siendo su componente principal de almidón, se convierte en una potencial fuente de este biopolímero para reemplazar materiales poliméricos de origen fósil (Cheek et al., 2018).

El desarrollo de bioplásticos o biocompositos a partir de residuos provenientes de frutas, entre ellas el mango, se ha convertido en un área clave de investigación (Patil et al., 2019). La agroindustria desempeña un papel fundamental en la extracción de biomoléculas presentes en estos residuos y su posterior procesamiento, tales como celulosa, lignina y metabolitos secundarios. Investigaciones recientes han demostrado mejoras significativas en las propiedades mecánicas de bioplásticos fabricados con fibras de mango modificadas, como lo comentó Torres et al., (2018). Además, se ha investigado la extracción y modificación química del almidón derivado de la semilla de mango para la producción de compuestos bioactivos. Los estudios realizados por Mwaurah et al., (2020) han demostrado que esta modificación puede ampliar las posibilidades de aplicación del almidón de mango, lo que lo convierte en un sustituto potencial de los polímeros de origen fósil, abriendo nuevas perspectivas para su uso en diversas aplicaciones industriales con actividad biológica (Sernaqué et al., 2020).

Otra área de aplicación, es la obtención de nanomateriales a partir de residuos de mango, como lo sugiere la investigación de Pan et al., (2018). La nanotecnología abre

nuevas oportunidades para la producción de materiales avanzados con propiedades únicas. El desarrollo de la agroindustria, se vuelve esencial en la obtención de nanopartículas a partir de estos residuos, mientras que la química de coloides e interfases contribuye a su estabilización y funcionalización (Zuin et al., 2020).

En este contexto, los estudios realizados por Castro et al., (2019) en Colombia, resaltan el potencial de los residuos de mango como fuentes de compuestos bioactivos, tales como los fenoles, los cuales tienen propiedades antioxidantes, antiproliferativas entre otras propiedades (Fontes et al., 2020), lo que sugiere su aplicación en alimentos funcionales y productos farmacéuticos. Este trabajo busca, establecer las tendencias y avances más relevantes en este campo, destacando la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre la ciencia agroindustrial, la ciencia de materiales y relación con la química coloidal e interfases en sistemas dispersos con el objeto de establecer una línea base de investigación de las propiedades fisicoquímicas y estructurales de los residuos del mango para ser aprovechados en la obtención de biomoléculas de interés industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de fuentes bibliográficas para esta revisión se llevó a cabo mediante una exhaustiva búsqueda en bases de datos Wos. Se utilizaron términos clave como: [Mangifera AND waste AND (Polymer OR BIOACTIVE OR NANOMATERIAL)]. La búsqueda se restringió a estudios publicados en español e inglés desde el año 2010 hasta el 7 de septiembre de 2023.

Los estudios seleccionados para esta revisión debieron cumplir con ciertos criterios de inclusión, a saber: (1) estar escritos en

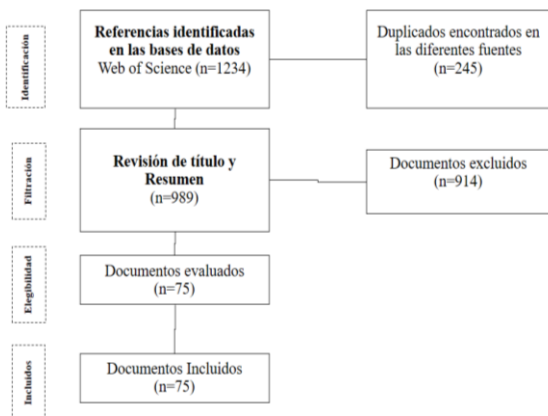


Figura 1. Esquema metodológico de selección de fuentes bibliográficas.

Una vez identificados los estudios pertinentes, se procedió a la extracción de datos clave, incluyendo información sobre la metodología empleada, resultados

español o inglés, (2) abordar específicamente el uso de mango en la síntesis o aplicación de nanomateriales, (3) presentar datos cuantitativos o cualitativos relevantes para la comprensión de los procesos y resultados obtenidos, (4) estar disponibles en su totalidad y ser accesibles. Se excluyeron los estudios que no se relacionaban directamente con el uso de mango en nanotecnología o que no proporcionaban información relevante para los objetivos de esta revisión (Fig. 1).

obtenidos, aplicaciones de los nanomateriales de mango, así como cualquier hallazgo relevante en términos de propiedades físicas o químicas. Se priorizó la inclusión de datos numéricos y estadísticas relacionadas con la síntesis y caracterización de los nanomateriales de mango. Estos datos se organizaron y analizaron para identificar tendencias, patrones y conclusiones clave. Los resultados de los estudios seleccionados se analizaron críticamente se los cuales se destacaron los aspectos más relevantes de la síntesis, caracterización y aplicaciones de del mango y sus residuos, y se identificaron posibles áreas de aplicación futura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de bioplásticos

Los bioplásticos representan una solución ecoeficiente y sostenible en la lucha contra la contaminación plástica y la reducción de la dependencia de los plásticos convencionales (Salazar et al., 2020). Uno de los enfoques más prometedores en la obtención de materiales no alimentarios a partir de

residuos de mango se centra en la producción de bioplásticos. Estos son obtenidos a partir de compuestos presentes en los residuos, como la celulosa y la lignina, presentan características biodegradables y renovables, que los convierte en una alternativa respetuosa con el medio ambiente y económicamente viable (Fig. 2).

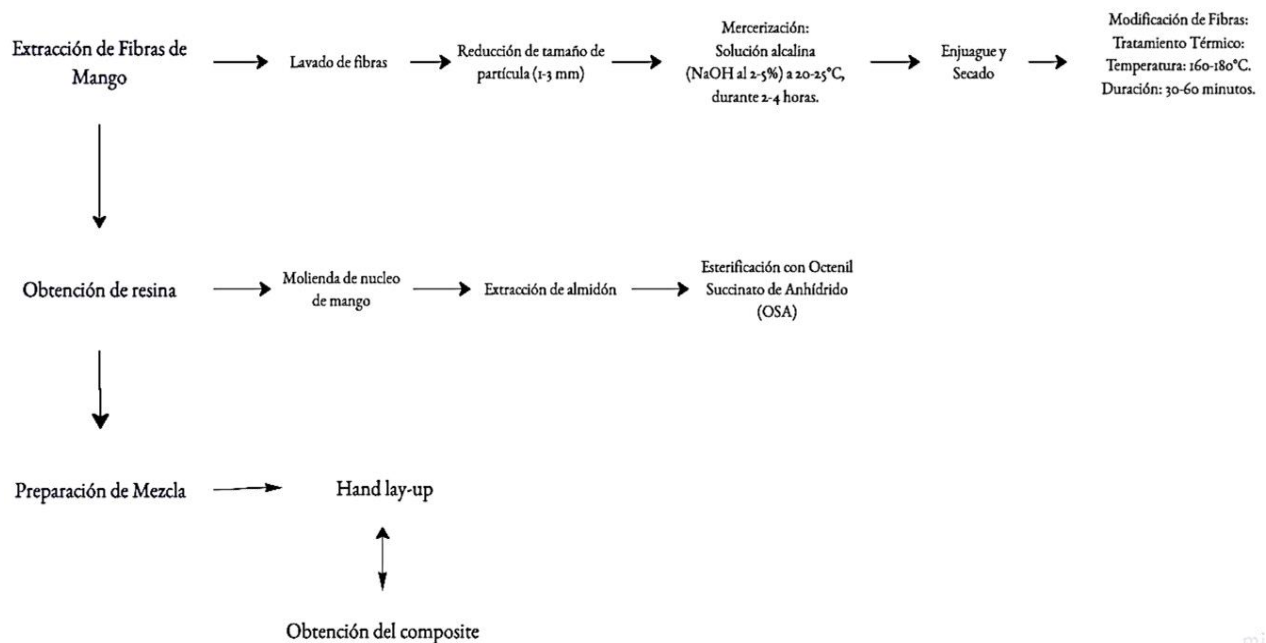


Figura 2. Etapas del proceso para la obtención de un compuesto con fibras de mango.

Un aspecto crucial en la producción de bioplásticos a partir de residuos de mango es

la extracción y modificación de almidón (Fig. 3), un polisacárido presente en las semillas. Los estudios realizados por Ferraz et al.,

(2019) se centran en la extracción de almidón a partir de la semilla o núcleo de mango, que contiene 78.42% en peso de almidón. Este almidón sometido a una reacción de esterificación con anhídrido succínico de octenilo (OSA), resulta en un almidón modificado con otros potenciales usos agroindustriales como bioplásticos.

Preparación de las semillas de mango

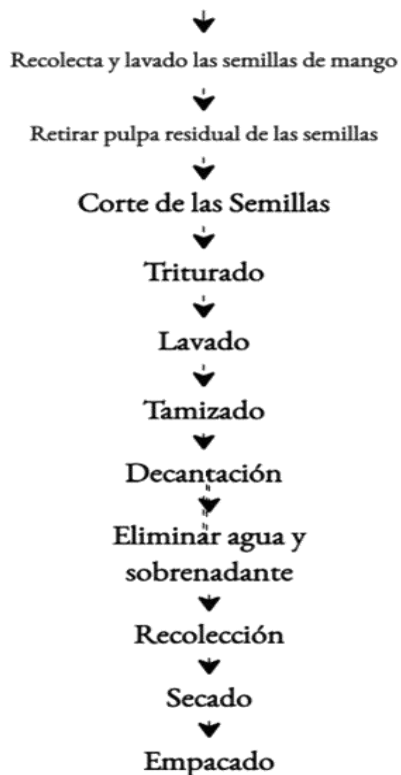


Figura 3. Proceso de extracción de almidón a partir de semillas de mango.

En cuanto a la biodegradabilidad de los bioplásticos de mango, Sernaqué *et al.*,

(2020), establece una relación entre la adición de plastificantes, como agua y glicerol, y las características físicas de los bioplásticos elaborados con diferentes volúmenes de glicerol.

Los resultados muestran que la biodegradación del material está directamente relacionada con la cantidad de glicerol añadido. Cuanto mayor sea la cantidad de glicerol, mayor será la biodegradabilidad, este hallazgo es sugiere que la manipulación de la composición de los bioplásticos de mango puede influir en su degradación y, por lo tanto, en su vida útil.

Es como Adilah *et al.*, (2018) incorporaron extractos de cáscaras de mango en películas de gelatina de pescado con el propósito de desarrollar envases activos para alimentos. Estas películas demostraron propiedades antioxidantes y de barrera mejoradas, lo que sugiere su potencial como materiales de envasado activos y respetuosos con el medio ambiente. Este enfoque podría tener un impacto significativo en la preservación de alimentos y en la reducción del desperdicio de productos frescos.

La extracción y purificación de estos compuestos requiere un enfoque multidisciplinario que integre la ingeniería

agroindustrial para el procesamiento de la materia prima y la química de coloides para la mejora de las técnicas de extracción y formulación de productos, como contextualizó Okino et al., (2016) la problemática de los residuos agroindustriales vegetales y resaltó la importancia de definir específicamente los residuos, incluyendo el caso de los desechos de naranja y mango, para comprender mejor los estudios sobre estos materiales.

En este sentido, Zuin et al., (2020) abordaron la valorización de residuos de mango en el contexto de una biorrefinería integrada y discutió la extracción de compuestos bioactivos utilizando una técnica de extracción asistida por homogeneización. Este método verde y sostenible optimizó variables como la concentración de etanol/agua, la relación muestra/solvente y el tiempo, obteniendo concentraciones máximas de compuestos bioactivos como mangiferina.

Así mismo, Nagel et al., (2021) investigó la viabilidad de procesar eficientemente los residuos de cáscaras de mango en una planta piloto, enfocándose en etapas clave como el blanqueado de la fruta, el secado de la cáscara y el empaquetado del producto final, con el objetivo de obtener un subproducto de cáscara de mango seca de alta calidad. y Lastra et al., (2021) reportaron el efecto de los extractos fenólicos de cáscaras de mango en las propiedades fisicoquímicas (Tabla 1), reológicas y microestructurales de soluciones de recubrimiento basadas en goma xantana, de estos coproductos se encontró que las soluciones resultantes presentaban un comportamiento de fluido pseudoplástico y propiedades viscoelásticas características de geles débiles, lo que sugiere su aplicabilidad en el desarrollo de recubrimientos comestibles y sistemas alimentarios complejos.

Tabla 1. Composición físico-química de la harina del mango (media \pm SD)

Componentes	Harina de Cotiledón de Mango Hilacha	Mango 'Tommy Atkins'	Cotiledones de Mango
Humedad (%)	7,50 \pm 0,05	9,75 \pm 0,14	12,25
Grasa cruda (%)	9,78 \pm 0,12	-	50,08
Proteína cruda (%)	5,78 \pm 0,17	0,0438 \pm 0	2,45

Fibra cruda (%)	7,65 ± 0,46	-	-
Ceniza total (%)	1,87 ± 0,03	0,07 ± 0	0,12
Azúcares totales (%)	6,26 ± 0,25	0,003 ± 0	1,25
Taninos totales (%)	6,14 ± 0,20	-	-
Amilosa (%)	-	31,40 ± 0,01	12,45
Amilopectina (%)	-	68,60 ± 0	87,55

Basado en: López (2020) y Medina (2010).

El aprovechamiento de residuos agroindustriales de mango para la extracción de compuestos bioactivos ha sido objeto de múltiples investigaciones en los últimos años. Sharif et al., (2020) utilizaron la extracción asistida por ultrasonido (UAE) y la extracción asistida por enzimas y ultrasonido (EAUE) para optimizar la extracción de moléculas bioactivas de las cáscaras de mango.

Estas estrategias de extracción se adoptaron para mejorar el rendimiento de extracción y

la compatibilidad ambiental. Los extractos resultantes de las cáscaras de mango fueron sometidos a pretratamiento mediante enzimas y ultrasonido, lo que permitió la extracción de fitoquímicos bioactivos (Tabla 2). Los resultados demostraron que las condiciones de optimización adecuadas para EAUE resultaron en los mayores contenidos de fenoles totales y polifenoles, lo que resalta el potencial de esta técnica

Tabla 2. Algunas propiedades bioactivas del Mango

Propiedad	Valor(es) Reportado(s)	Referencia
Rendimiento de Pectina	15.7%, 27.2%	Sharif et al., 2020
Contenido de Fenoles Totales	33.56 mg GAE/g	
Contenido de Polifenoles	25.64 mg GAE/g	
Capacidad Antioxidante (TEAC)	215.42 mM TE/g	
Capacidad Antioxidante (DPPH)	11.38 µg/mL	Zuin et al., 2020
Contenido de Acido Gálico	525.1-1405.6 mg/l	
Contenido de Mangiferina	7.8-162.2 mg/l	
Contenido de Quercetina	40.6-49.2 mg/l	

Contenido de Acido Elágico	38.8-69.3 mg/l	Zuin <i>et al.</i> , 2020; Mwaurah <i>et al.</i> , 2020
Contenido de Macronutrientes (Carbohidratos, Grasa, Proteína)	32.34-76.81%, 6-15.2%, 6.36-10.02% en base seca	Mwaurah <i>et al.</i> , 2020

En cuanto a la extracción de compuestos antioxidantes Ling et al., (2020) investigaron en los desechos de *Mangifera pajang* utilizando solventes convencionales y un solvente eutéctico profundo (DES), tras la optimización de las condiciones de extracción, se encontró que el DES basado en cloruro de colina y glicerol resultó en la mayor actividad antioxidante, superando ligeramente a la extracción con etanol acuoso. Este hallazgo sugiere que los DES pueden ser excelentes solventes para extraer compuestos antioxidantes de materiales vegetales, con aplicaciones potenciales en la industria.

Nanomateriales

Otro campo emergente es la obtención de nanomateriales a partir de residuos de mango. La nanotecnología ha abierto nuevas oportunidades para la producción de materiales avanzados con propiedades únicas. La ingeniería agroindustrial desempeña un papel central en la obtención

de nanopartículas a partir de los residuos, mientras que la química de coloides e interfases contribuye a la estabilización y funcionalización de estos nanomateriales. Para esto, la utilización de subproductos de la industria del mango, como las cáscaras y semillas que representan del 40% al 60% del peso del fruto (Sharma et al., 2022), ha emergido como una estrategia prometedora para reducir el impacto ambiental y aprovechar al máximo los recursos. Como lo demuestra Donga et al., (2020) con los extractos de semillas de mango (*Mangifera indica*) que pueden ser empleados eficazmente en la síntesis de nanopartículas de oro (AuNPs), evitando así la generación de residuos y ofreciendo una alternativa sostenible. Estos compuestos bioactivos presentes en las semillas actúan como agentes reductores para la síntesis de AuNPs sin la necesidad de agentes externos. La caracterización de las AuNPs sintetizadas de forma verde se llevó a cabo utilizando diversas técnicas espectroscópicas, confirmando la formación

de las mismas a través de un cambio visual de incoloro a color rojo rubí y un pico de absorción máximo a 550 nm en el espectro UV. Además, la naturaleza cristalina de las partículas fue corroborada mediante técnicas de difracción de rayos X (XRD), y su forma y tamaño se determinaron mediante análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de electrones seleccionados (SAED). De este modo, se evidencia que las semillas de *M. indica*, en lugar de ser desechadas, pueden ser aprovechadas con éxito para la síntesis de AuNPs con aplicaciones potenciales como agentes antimicrobianos, antioxidantes y anticancerígenos (Donga et al., 2020; Solanilla et al., 2020).

En el estudio realizado por Hai et al., (2022), se exploró la síntesis de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando extracto de hojas de mango (*Mangifera indica*) como agente reductor y estabilizador de carácter ecológico, detectaron que la mayor estabilidad de las AgNPs se logró con un volumen de AgNO₃ de 300 µL, un tiempo de reacción de 30 minutos y un pH de 10. Las AgNPs sintetizadas demostraron un excelente rendimiento en la catálisis de la reducción de tintes orgánicos, con una eficiencia de eliminación del 98.83% para el

violeta de cristal (CV) bajo condiciones asistidas por ultrasonidos, superando el rendimiento bajo agitación convencional. Además, las AgNPs mostraron una buena capacidad de detección de H₂O₂ y Hg (II) con un límite de detección de 20.21 y 25.87 µg/L, respectivamente. Estos nanomateriales también exhibieron una destacada actividad antimicrobiana, inhibiendo eficazmente el crecimiento de bacterias Gram-positivas, Gram-negativas y hongos con una inhibición de más del 85 %. Los resultados indican que las AgNPs obtenidas a partir del extracto de hojas de *Mangifera indica* tienen un prometedor potencial de aplicación en tratamientos médicos y ambientales.

Por otro lado, la industria de procesamiento de mango genera grandes cantidades de residuos, como las cáscaras y los núcleos, que a menudo son descartados como desechos. No obstante, investigaciones recientes, como la llevada a cabo por de Oliveira et al. (2021), han demostrado que estos residuos pueden ser utilizados como materia prima para la obtención de nanomateriales valiosos. En su estudio, se produjeron nanopartículas de almidón carboximetilado a partir del almidón de los núcleos de mango. Estas nanopartículas se decoraron con cadenas termosensibles de

poli (N-isopropilacrilamida) amino terminal, demostrando su potencial aplicabilidad en el ámbito biomédico. La funcionalización de las nanopartículas se confirmó mediante análisis elemental, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y resonancia magnética nuclear de protón (^1H RMN). Las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) y los datos de dispersión dinámica de la luz (DLS) revelaron tamaños de partícula de 100 y 112 nm en estado seco y de 744 y 598 nm en estado hidratado, respectivamente, evidenciando que los residuos de mango poseen un valioso potencial para la obtención de nanomateriales como las nanopartículas de almidón carboximetilado funcionalizadas, que encuentran aplicaciones en el ámbito biomédico sin presentar toxicidad para células y glóbulos rojos (de Oliveira et al., 2021).

En este sentido como aplicación nutracéutica y farmacéutica del mango, Suhag et al., (2021) reportan la biosíntesis de nanopartículas metálicas, incluyendo las de oro, utilizando extractos de cáscaras de mango y otros subproductos de frutas. Estas nanopartículas mostraron propiedades antioxidantes y antibacterianas, así mismo Cassani et al. (2020) abordan la producción

sostenible de colorantes basados en carotenoides obtenidos de diversas fuentes vegetales, incluido el mango. Los carotenoides son pigmentos naturales con propiedades bioactivas, y su extracción de subproductos de mango puede reemplazar colorantes artificiales en la industria alimentaria. Además, se examinan estrategias de nanotecnología para proteger y mejorar la biodisponibilidad de estos carotenoides, lo que sugiere aplicaciones potenciales en alimentos funcionales y en la industria de la salud.

En el estudio conducido por Saka et al., (2022), se investigó el uso de nanopartículas de ZnO como catalizadores en la transesterificación del bioaceite de semillas de mango (*Mangifera indica*) con metanol, utilizando KOH como catalizador principal. Se logró un rendimiento del 85% en peso bajo condiciones óptimas, a una temperatura de 50 °C y 10 mL de nanocatalizador de ZnO. Además, se evaluaron parámetros de rendimiento y emisiones, incluyendo eficiencia térmica de frenado (BTE), consumo específico de combustible (BSFC), CO, hidrocarburos no quemados (UHC), NO_x y CO₂. Los resultados mostraron que las mezclas de biodiesel DE10, DE20, DE30, DE40 y DE50 alcanzaron eficiencias BTE de

27.4%, 27.3%, 17.7%, 20.3%, y 20.2%, respectivamente. El BSFC de DE10, DE20, DE30, DE40 y DE50 fue de 0.77, 2.1, 1.61, 4.5 y 4.7 kg/kWh, respectivamente. Las emisiones de hidrocarburos se redujeron en un 10% con DE10, indicando una quema más eficiente. Las emisiones de monóxido de carbono también disminuyeron para estas mezclas. Sin embargo, se observó un aumento en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) con DE10 y DE100. Además, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) mostraron una variación mínima en comparación con el diésel convencional. Los resultados revelaron que el biodiésel producido a partir de extractos de semillas de mango cumple con los estándares de calidad y puede ser una alternativa efectiva y ecológica para mezclarse con diésel convencional.

Perspectivas futuras

En el ámbito de la investigación científica, se están delineando importantes tendencias y perspectivas en relación con el mango (*Mangifera indica*) y sus subproductos, que abarcan desde la extracción de compuestos bioactivos hasta la producción de nanomateriales y su aplicación en la industria alimentaria y más allá. Uno de los

enfoques destacados se centra en la extracción eficiente de compuestos bioactivos, como polifenoles y carotenoides, de diversas partes del mango, como cáscaras y semillas (Zuin et al., 2020). Estos compuestos poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que los convierte en candidatos prometedores para su aplicación en la industria de alimentos y productos farmacéuticos (Sonawane et al., 2020). La búsqueda de métodos de extracción verdes y sostenibles, como la extracción asistida por ultrasonido, está en aumento para maximizar el rendimiento de estos valiosos compuestos (Khashar et al., 2022).

Otra línea de investigación se centra en la síntesis de nanomateriales utilizando extractos de mango como agentes reductores y estabilizadores. Estos nanomateriales, ejemplificados por las nanopartículas de plata, exhiben propiedades catalíticas, capacidad de detección y actividades antimicrobianas, lo que los convierte en candidatos ideales para aplicaciones en catálisis y sensores, así como en el control de contaminantes ambientales y patógenos (Shi et al., 2020).

En el ámbito de la industria alimentaria, los subproductos del mango, como la harina de cotiledón, están siendo evaluados como ingredientes funcionales (de Almeida et al., 2016). Su composición y propiedades, que

incluyen la capacidad de retención de humedad (Tabla 3), se estudian para mejorar la calidad de los productos alimenticios y para sustituir ingredientes menos saludables (Uuh et al., 2023).

Tabla 3. Temperaturas y entalpía de gelatinización de los almidones.

Almidón	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	Intervalo de Gelatinización (lg) (°C)	ΔHg (Jg-1)	Ref.
Maíz	65.7 ± 0.1	71.2 ± 0.1	79.1 ± 0.8	13.5 ± 0.8	11.0 ± 0.6	Casarrubias et al., 2012
Mango	66.7 ± 0.1	71.9 ± 0.2	80.7 ± 1.0	14.0 ± 1.0	11.5 ± 0.7	
Plátano	71.3 ± 0.2	77.4 ± 0.3	88.7 ± 0.9	17.3 ± 0.8	14.2 ± 0.9	
Makal	72.5	78.4	84.0	-	14.9	Hernández et al., 2008
Camote	55.2	61.3	68.2	-	9.2	
Yuca	57.8	65.2	75.3	-	10.0	
Sagú	62.2	74.9	89.2	-	12.5	

La gestión sostenible de residuos es otra perspectiva crucial. Dada la generación masiva de residuos de mango, se investiga la viabilidad de su uso en biorrefinerías para la producción de biocombustibles, contribuyendo así a la sostenibilidad y al manejo de residuos (Bello et al., 2023). La investigación se expande también hacia la calidad nutricional del mango y sus diversas variedades, incluyendo hojas y pulpas. Esto facilitará la promoción del mango como parte de la dieta diaria y el desarrollo de alimentos

funcionales basados en este fruto (Blancas et al., 2015).

La aplicación potencial de compuestos bioactivos del mango en el campo farmacéutico está siendo explorada, con investigaciones dirigidas al desarrollo de medicamentos y terapias para diversas condiciones de salud (Mwaurah et al., 2020). Finalmente, la optimización de técnicas de almacenamiento y conservación de mangos y subproductos, como envases inteligentes y métodos de conservación poscosecha, constituye un ámbito de estudio crucial para

reducir pérdidas y extender la vida útil de los productos a base de mango.

CONCLUSIONES

La explotación de los subproductos derivados del mango como fuente de materiales y compuestos bioactivos se revela como un campo en auge que demanda una colaboración estrecha entre expertos en ingeniería agroindustrial, ciencia de materiales y química de coloides e interfases. Esta sinergia interdisciplinaria se presenta como un elemento fundamental para optimizar la valorización de estos residuos y promover la sostenibilidad en la industria agroindustrial del mango. Los estudios examinados en esta revisión evidencian el potencial de estos subproductos en la producción de nanomateriales, colorantes naturales y el desarrollo de envases activos. Esta

versatilidad de aplicaciones no solo abre oportunidades para la utilización más eficiente de los residuos de alimentos, sino que también ejerce un impacto significativo en la reducción del impacto ambiental asociado a la industria alimentaria y de biotecnología. Las tendencias actuales pronostican un futuro prometedor en la producción de bioplásticos, compuestos bioactivos y nanomateriales a partir de estos recursos subutilizados. Esta evolución no solo impulsa la innovación en la industria, sino que también contribuye a la consolidación de prácticas sostenibles que fomentan la optimización de los recursos y la reducción de la huella ambiental en el sector agroindustrial.

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Margarita Salazar lideró la conceptualización del enfoque y los objetivos de la revisión, guiando la dirección general del proyecto. Además, su participación activa en la investigación incluyó la búsqueda, selección y recopilación de la literatura relevante. Margarita asumió la responsabilidad

principal en la redacción del borrador original del artículo, aportando su perspectiva única al desarrollo del contenido.

José Fernando Solanilla desempeñó un papel esencial en el análisis formal de los datos recopilados durante la revisión, contribuyendo con su experiencia en este

aspecto específico. Su participación destacada en la revisión y edición crítica mejoró la calidad y claridad del artículo. Además, supervisó el proyecto en su

conjunto, brindando dirección y liderazgo para garantizar la coherencia y excelencia del trabajo. Ambos autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., & Hanani, Z. N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food packaging and shelf life*, 16, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>

Blancas-Benitez, F. J., de Jesús Avena-Bustillos, R., Montalvo-González, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., & H McHugh, T. (2015). Addition of dried 'Ataulfo'mango (*Mangifera indica* L) by-products as a source of dietary fiber and polyphenols in starch molded mango snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7393-7400.

Bello, U., Amran, N. A., Ruslan, M. S. H., & Adamu, H. (2023). Characterization, bioactivity evaluation, thermo-kinetic studies of mango (*Mangifera indica* L.) peel extract, and its applicability in oxidative stabilization of biodiesel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-16.

Casarrubias-Castillo, M. G., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambriz, S. L., Sánchez-Rivera, M. M., & Bello-Pérez, L. A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46(5), 455-466.

Cassani, L., Marcovich, N. E., & Gomez-Zavaglia, A. (2022). Valorization of fruit and vegetables agro-wastes for the sustainable production of carotenoid-based colorants with enhanced bioavailability. *Food Research International*, 152, 110924. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110924>.

Castro-Vargas, H. I., Ballesteros Vivas, D., Ortega Barbosa, J., Morantes Medina, S. J., Aristizabal Gutiérrez, F., & Parada-Alfonso, F. (2019). Bioactive phenolic compounds from the agroindustrial waste of Colombian mango cultivars 'sugar mango'and 'tommy atkins'—An alternative for their use and valorization.

- Antioxidants, 8(2), 41.
<https://doi.org/10.3390/antiox8020041>.
- Cheok, C. Y., Mohd Adzahan, N., Abdul Rahman, R., Zainal Abedin, N. H., Hussain, N., Sulaiman, R., & Chong, G. H. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(3), 335-361. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1176009>.
- houdhary, P., Devi, T. B., Tushir, S., Kasana, R. C., Popatrao, D. S., & K, N. (2023). Mango seed kernel: A bountiful source of nutritional and bioactive compounds. *Food and Bioprocess Technology*, 16(2), 289-312. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02889-y>.
- De Almeida Monaco, K., Costa, S. M., Minatel, I. O., Correa, C. R., Calero, F. A., Vianello, F., & Lima, G. P. P. (2016). Influence of ozonated water sanitation on postharvest quality of conventionally and organically cultivated mangoes after postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 69-75.
- De Oliveira, M. A., Madruga, L. Y., de Lima, B. L., Villetti, M. A., de Souza Filho, M. S., Kipper, M. J., ... & Balaban, R. C. (2021). Agro-industrial waste valorization: Transformation of starch from mango kernel into biocompatible, thermoresponsive and high swelling nanogels. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32, 1607-1616. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210059>
- Donga, S., Bhadu, G. R., & Chanda, S. (2020). Antimicrobial, antioxidant and anticancer activities of gold nanoparticles green synthesized using *Mangifera indica* seed aqueous extract. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 48(1), 1315-1325. <https://doi.org/10.1080/21691401.2020.1843470>.
- Ferraz, C. A., Fontes, R. L., Fontes-Sant'Ana, G. C., Calado, V., López, E. O., & Rocha-Leão, M. H. (2019). Extraction, modification, and chemical, thermal and morphological characterization of starch from the agro-industrial residue of mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá. *Starch-Stärke*, 71(1-2), 1800023. <https://doi.org/10.1002/star.201800023>.
- Fontes-Zepeda, A., Domínguez-Avila, J. A., Lopez-Martinez, L. X., Cruz-Valenzuela, M. R., Robles-Sánchez, R. M., Salazar-

- López, N. J., & González-Aguilar, G. A. (2023). The addition of mango and papaya peels to corn extrudates enriches their phenolic compound profile and maintains their sensory characteristics. *Waste and Biomass Valorization*, 14(3), 751-764. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01898-4>.
- García-Mahecha, M., Soto-Valdez, H., Carvajal-Millan, E., Madera-Santana, T. J., Lomelí-Ramírez, M. G., & Colín-Chávez, C. (2023). Bioactive compounds in extracts from the agro-industrial waste of mango. *Molecules*, 28(1), 458. <https://doi.org/10.3390/molecules28010458>.
- Hai, N. D., Dat, N. M., Thinh, D. B., Nam, N. T. H., Dat, N. T., Phong, M. T., & Hieu, N. H. (2022). Phytosynthesis of silver nanoparticles using *Mangifera indica* leaves extract at room temperature: Formation mechanism, catalytic reduction, colorimetric sensing, and antimicrobial activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 220, 112974. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112974>.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28, 718-726.
- Karim, R., Nahar, K., Zohora, F. T., Islam, M. M., Bhuiyan, R. H., Jahan, M. S., & Shaikh, M. A. A. (2022). Pectin from lemon and mango peel: Extraction, characterisation and application in biodegradable film. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 100258. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100258>.
- Khaksar, G., Sirijan, M., Suntichaikamolkul, N., & Sirikantaramas, S. (2022). Metabolomics for agricultural waste valorization: Shifting toward a sustainable bioeconomy. *Frontiers in Plant Science*, 13, 938480.
- Lastra Ripoll, S. E., Quintana Martinez, S. E., & Garcia Zapateiro, L. A. (2021). Rheological and microstructural properties of xanthan gum-based coating solutions enriched with phenolic mango (*Mangifera indica*) peel extracts. *ACS omega*, 6(24), 16119-16128. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02011>.

- Ling, J. K. U., Chan, Y. S., & Nandong, J. (2020). Extraction of antioxidant compounds from the wastes of *Mangifera pajang* fruit: A comparative study using aqueous ethanol and deep eutectic solvent. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1365. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3153-x>.
- López-Flores, Y. A., Ramírez-Balboa, G., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P. U., López-Guzmán, G., & Bello-Lara, J. E. (2020). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón extraídos de frutos de mango 'Tommy atkins' del estado de Nayarit. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 694-699.
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M. E., Moreno, M., Belén-Camacho, D., García, D., & Ojeda, C. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 22(1), 67-74.
- Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Panghal, A., Attkan, A. K., Singh, V. K., & Garg, M. K. (2020). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2421-2446. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12598>.
- Nagel, A., Neidhart, S., Kuebler, S., Elstner, P., Anders, T., Korhummel, S., ... & Carle, R. (2017). Applicability of fruit blanching and intermittent microwave-convective belt drying to industrial peel waste of different mango cultivars for the recovery of functional coproducts. *Industrial Crops and Products*, 109, 923-935. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.028>.
- Okino Delgado, C. H., & Fleuri, L. F. (2016). Orange and mango by-products: Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description—A review. *Food Reviews International*, 32(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041183>
- Pan, J., Yi, X., Zhang, S., Cheng, J., Wang, Y., Liu, C., & He, X. (2018). Bioactive phenolics from mango leaves (*Mangifera indica* L.). *Industrial Crops and Products*, 111, 400-406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.057>.

- Patil, N. V., Rahman, M. M., & Netravali, A. N. (2019). "Green" composites using bioresins from agro-wastes and modified sisal fibers. *Polymer Composites*, 40(1), 99-108. <https://doi.org/10.1002/pc.24607>.
- Saka, A., Enkosa, E., Jule, L. T., Nagaprasad, N., Subramanian, K., & Ramaswamy, K. (2022). Biofuel production from mango (*Mangifera indica*) seed extracts through zinc oxide nanoparticle. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03005-y>.
- Salazar-Sánchez, M. D. R., Cañas-Montoya, J. A., Villada-Castillo, H. S., Solanilla-Duque, J. F., Rodríguez-Herrera, R., & Ávalos-Belmontes, F. (2020). Biogenerated polymers: An environmental alternative. *Dyna*, 87(214), 75-84.
- Sharma, S., Mehta, N. K., & Ahalavat, S. Bioactive Potential of Mango (*Mangifera indica*): An Alternative to Synthetic Additives in Meat Products. *Vigyan Varta*, 4(2) 59-61.
- Sharif, T., Bhatti, H. N., Bull, I. D., & Bilal, M. (2023). Recovery of high-value bioactive phytochemicals from agro-waste of mango (*Mangifera indica* L.) using enzyme-assisted ultrasound pretreated extraction. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(8), 6591-6599. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01589-5>
- Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio, Huamán Mogollón, Lilian del Carmen, Pecho Chipa, Hugo, & Chacón Chacón, Michiel Elizabeth. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola*, 47(4), 22-31. Epub 01 de octubre de 2020. Recuperado en 25 de noviembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000400022&lng=es&tlng=es
- Singh, R. P., Pilloo, N. G., Kumar, S., Kumar, A., Rizwanullah, M., Kumar, P., & Singh, D. (2023). Studies on physico-chemical characteristics of unripe fruits of local mango (*Mangifera indica* L.) cv. Heinou Khongnemi fruit of Manipur. *The Pharma Innovation Journal*, 12(6): 4748 – 4752.
- Shi, F., Xie, L., Lin, Q., Tong, C., Fu, Q., Xu, J., ... & Shi, S. (2020). Profiling of tyrosinase inhibitors in mango leaves for a

sustainable agro-industry. Food Technology, 55, 109-117. chemistry, 312, 126042. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.009>

Solanilla-Duque, J. F., del Rosario Salazar-Sánchez, M., & Villada-Castillo, H. S. (2020). Section B: Uses of renewable feedstocks. In *Green Chemistry and Applications* (pp. 117-151). CRC Press.

Sonawane, A., Pathak, S., & Pradhan, R. C. (2020). Bioactive compounds in bael fruit pulp waste: ultrasound-assisted extraction, characterization, modeling, and optimization approaches. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(1), 9318-9334.

Suhag, R., Kumar, R., Dhiman, A., Sharma, A., Prabhakar, P. K., Gopalakrishnan, K., & Singh, A. (2022). Fruit peel bioactives, valorisation into nanoparticles and potential applications: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2043237>.

Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., & Aguilar, C. N. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *Trends in Food Science &*

Uuh-Narváez, J., Castañeda-Pérez, E., Chel-Guerrero, L., Hernández-Martínez, D. M., & Betancur-Ancona, D. (2023). Assessment of bioactive compounds and antioxidant capacity of peels and seeds from *Mangifera indica* L cv Ataulfo waste. *European Food Research and Technology*, 1-8.

Zuin, V. G., Segatto, M. L., & Zanotti, K. (2020). Towards a green and sustainable fruit waste valorisation model in Brazil: optimisation of homogenizer-assisted extraction of bioactive compounds from mango waste using a response surface methodology. *Pure and Applied Chemistry*, 92(4), 617-629. <https://doi.org/10.1515/pac-2019-1001>.