

**Revisión del Potencial de los Subproductos de la papaya (*Carica papaya*) en la
Elaboración de Alimentos Funcionales: Aplicaciones y Beneficios**

Isabella Galeano Martínez

Código: 1958465

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Alimentos

Tuluá-Valle del Cauca

2025

**Revisión del Potencial de los Subproductos de la papaya (*Carica papaya*) en la
Elaboración de Alimentos Funcionales: Aplicaciones y Beneficios**

Isabella Galeano Martinez

Código: 1958465

Directora:

Anna María Polanía Rivera, PhD.

Codirector:

Libardo Castañeda Flórez, Mtr.

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera de Alimentos

Universidad del Valle

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Alimentos

Tuluá-Valle del Cauca

2025

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	7
Introducción	8
1. Objetivos.....	11
1.1 General	11
1.2 Específicos.....	11
2. Estrategias de búsqueda.....	12
3. Marco teórico.....	17
3.1 Papaya “ <i>Carica papaya</i> ”	17
3.2 Producción de papaya.....	18
3.3 Componentes de la papaya	21
3.3.1 Semillas	21
3.3.2 Cáscara	23
3.3.3 Hojas.....	24
3.4 Potencial de los subproductos de la papaya en la elaboración de productos funcionales.	26
3.5 Impacto ambiental de los desechos de la papaya	27
3.6 Tabla de antecedentes investigativos	30
4. Resultados.....	32
4.1 Contenido de nutrientes en subproductos de papaya.....	32

4.1.1	Composición nutricional	35
4.1.2	Contexto amplio y aprovechamiento.....	40
4.2	Beneficios funcionales y nutricionales	41
4.2.1	Propiedades fitoquímicas	41
4.2.2	Actividades farmacológicas asociadas a los fitoquímicos:	42
4.2.3	Contexto amplio y aprovechamiento de las propiedades fitoquímicas:	43
4.2.4	Aplicaciones en la industria alimentaria	45
5.	Compendio de información	48
5.1	Propuestas de aplicación industrial en Colombia a partir de subproductos de papaya	54
5.2	Líneas de investigación futura.....	56
6.	Conclusiones.....	57
	Referencias.....	58

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de las semillas de papaya.	22
Tabla 2. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la cáscara de papaya.	23
Tabla 3. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la hoja de papaya.	24
Tabla 4. Resumen de antecedentes reportados sobre subproductos de <i>Carica papaya</i> desde el 2016 hasta el 2024.	30
Tabla 5. Composición nutricional y fitoquímica de subproductos de papaya	36
Tabla 6. Componentes fitoquímicos en distintas partes de la papaya (<i>Carica papaya</i>)	41
Tabla 7. Actividades biológicas asociadas a los compuestos de <i>Carica papaya</i>	42

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Publicaciones por año asociadas con subproductos de <i>Carica papaya</i> para la elaboración de productos funcionales.	13
Figura 2. Países con mayor número de publicaciones relacionadas con subproductos de <i>Carica papaya</i> para la elaboración de productos funcionales.	14
Figura 3. Diferentes áreas de estudio que realizaron investigaciones asociadas con subproductos de <i>Carica papaya</i> para la elaboración de productos funcionales.	15
Figura 4. Diferentes tipos de documentos asociadas con subproductos de <i>Carica papaya</i> para la elaboración de productos funcionales.	15
Figura 5. Imágenes de <i>Carica papaya</i> L. (papaya CV Formosa): (a) Árbol con hojas y frutos verdes, (b) flor femenina y (c) fruto maduro con semillas y pulpa. LF Santana.	17
Figura 6. Principales productores a nivel mundial de papaya. M (Millón).	19
Figura 7. Exportación de papaya en Colombia desde 2016 a 2020.	19
Figura 8. Importación de papaya en Colombia desde 2016 a 2020.	19

Resumen

Esta monografía presenta una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la incorporación de subproductos de papaya, específicamente hojas, cáscaras y semillas, en el desarrollo de productos con beneficios funcionales. Se puso especial énfasis en la pertinencia de su aplicación dentro del contexto del consumo y uso de alimentos e ingredientes en Colombia. La investigación destaca el considerable potencial de estos subproductos, que a menudo son desechados, como fuentes ricas en compuestos bioactivos. Las hojas de papaya, por ejemplo, son reconocidas por su contenido de papaína y carotenoides, mientras que las cáscaras poseen una cantidad significativa de fibra dietética y compuestos fenólicos. Las semillas, por su parte, son valiosas por sus ácidos grasos insaturados y fitoquímicos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. En conclusión, los subproductos de la papaya, como hojas, cáscaras y semillas, representan una fuente valiosa de compuestos bioactivos y nutrientes esenciales. Su incorporación en alimentos funcionales no solo promueve la sostenibilidad al reducir residuos agroindustriales, sino que también ofrece beneficios significativos para la salud humana, destacando su potencial en la innovación alimentaria.

Introducción

La industria colombiana utiliza distintos tipos de frutas como materia prima en la elaboración de productos alimenticios, cosméticos, farmacéuticos, y químicos (Mejía & Morales, 2016). Adicionalmente las centrales de abasto del sector agropecuario y las industrias agroalimentarias desencadenan una gran cantidad de residuos sólidos de origen vegetal que comprometen gravemente los ecosistemas por su alta concentración de materia orgánica (González, 2013). Por lo tanto, la disposición inadecuada de los residuos generados en la producción agroindustrial se ha convertido en un problema para este sector, generando afectaciones en el medio ambiente e incluso alteraciones socioeconómicas debido a los altos costos que deben asumir las empresas generadoras para la disposición de los residuos agroindustriales (Mosquera et al., 2023). Finalmente, estos desechos se eliminan en vertederos y se dejan descomponer sin un adecuado manejo y control (Barzee et al., 2022), ocasionando un impacto negativo al medio ambiente debido a su alta fermentabilidad y biodegradabilidad.

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2016) se estima que, la cantidad perdida de alimentos, el 40,5 % (3,95 millones de toneladas) se produce en la etapa de producción agropecuaria, el 19,8 % (1,93 millones de toneladas) se pierde en el proceso de postcosecha y almacenamiento, mientras que el 3,5 % (342 mil toneladas) se genera en los procesos de procesamiento industrial. En cuanto al desperdicio como tal, el 20,6 % (2,01 millones de toneladas) se desperdicia en la distribución y retail, mientras que el 15,6 % (1,53 millones de toneladas) se desperdicia en los hogares. Para un total de 9,76 millones de toneladas perdidas y desperdiciadas, del cual 6,1 millones de toneladas corresponden a frutas y verduras, 2,4 millones de toneladas a raíces y tubérculos, 772.000 de toneladas a cereales, 269.000 de toneladas a cárnicos, 148.000 de toneladas a oleaginosas y legumbres, 50.000 toneladas a pescado y 29.000 toneladas a productos lácteos. Esto representa una participación de frutas y verduras dentro de un total de la pérdida y

desperdicio de un 62 %, de la cual se puede decir que es la mayor, seguida por raíces y tubérculos con una participación del 25%.

En este sentido, la Economía Circular (EC) ha ganado interés en los últimos años por su postulado de “tomar-hacer-reusar”. Bajo este fundamento, se pretende que el término “fin de ciclo de vida” sea reemplazado por cerrar el ciclo de vida mediante el “reúso, reciclaje, reducción” (Donner & de Vries, 2021). En este contexto, Colombia no ha sido la excepción, puesto que mediante la Estrategia Nacional de Economía Circular del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente, 2019), se ha incentivado la transición hacia la EC y el sector agroalimentario tiene especial atención (Barros et al. (2020); Esposito et al. (2020)) por las razones anteriormente expuestas.

La papaya (*Carica papaya*) es considerada como una fruta de amplia producción, consumo y distribución en Colombia (Upra, 2023), esto gracias a su ubicación geográfica y privilegiado clima tropical. Por ende, Colombia es acreedor de una amplia variedad que superan las 400 especies nativas frutales (Estrada, 2022), siendo uno de los países más productores del mundo en frutas.

La papaya en Colombia se consume tanto como fruta fresca como en jugos y además cuenta con un precio asequible. Las cifras de la FAO, recopiladas por ProducePay, muestran que los principales productores de papaya, de Centro y Sudamérica son; Brasil, Perú y Colombia. Este último exporta 130.000 toneladas anuales. Y entre los principales departamentos productores del país se destacan; Córdoba 23 %, Magdalena 21 %, Meta 11 % y el Valle del Cauca 10 % (Murcia, 2023).

Los residuos o subproductos generados a partir de la papaya, como lo son, las semillas en su gran parte, y las cáscaras, poseen componentes beneficiosos para la salud (Navarro et al., 2016). Por ejemplo, las semillas según estudios presentan compuestos bioactivos y actividad antioxidante,

de ahí que estas puedan ser usadas como ingredientes en la elaboración de un alimento funcional (Illescas, 2022). En cuanto a las cascara, estas poseen altos niveles de compuestos fenólicos y carotenoides, que exhiben fuertes propiedades antioxidantes, por ejemplo, el extracto de cascara de papaya puede neutralizar moléculas desequilibrantes para el organismo, conocidas como radicales libres, lo que reduce el estrés oxidativo y potencialmente disminuye el riesgo de enfermedades crónicas como las cardiovasculares y el cáncer (Kokila et al., 2016)

De modo que los residuos agroindustriales pueden contribuir de manera importante a la EC, ya que pueden ser usados como materias primas en diferentes procesos de producción. El aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales o subproductos como cáscaras, semillas, tallos, orujos y hojas, representan alrededor del 50% de la fruta fresca (Rojas, 2023), este porcentaje podría incluirse, en la elaboración de productos e ingredientes alimentarios funcionales. Según la Academia Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, un alimento funcional es cualquier alimento o ingrediente modificado que pueda proporcionar un beneficio a la salud que sea superior al de los nutrientes “tradicionales” que este contenga.

Considerando lo anterior, este trabajo de revisión tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos de estudios recientes que hayan evaluado y empleado el potencial de los residuos o subproductos en la elaboración de alimentos funcionales y concluir sobre las aplicaciones y beneficios que estos tienen sobre la salud.

1. Objetivos

1.1 General

- Analizar el potencial de los subproductos de la papaya (*Carica papaya*) en la elaboración de alimentos funcionales, identificando sus propiedades nutricionales, funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria mediante un análisis bibliométrico.

1.2 Específicos

- Especificar con base a la búsqueda bibliográfica el contenido de nutrientes clave (vitaminas, minerales, fibra, antioxidantes) en los subproductos de la papaya, tales como cáscaras, semillas y hojas.
- Determinar las propiedades bioactivas y funcionales de los subproductos de la papaya, incluyendo su capacidad antioxidante, antiinflamatoria y sus efectos sobre la salud digestiva, con el fin de identificar sus beneficios específicos para la salud.
- Identificar procesos de incorporación de subproductos de la papaya en la formulación de alimentos funcionales, como snacks, bebidas o suplementos, evaluando su aceptación sensorial, su estabilidad, y beneficios para la salud, con el propósito de promover su uso en la industria alimentaria.

2. Estrategias de búsqueda

Para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo, se realizó una estrategia de búsqueda en una variedad de base de datos científicas como Scopus, Scholar Google y ScienceDirect utilizando palabras claves como: “*Carica papaya*”, “papaya properties”, “semillas”, “hojas”, “cáscaras”, “functional products”, “salud”, “subproductos”, “producción de papaya” y “residuos de papaya”, “Waste management”, “product development”. Con el fin de obtener un análisis sistemático de los principales autores, revistas, documentos y países que hayan publicado sobre la implementación de los subproductos de la papaya en la elaboración de productos funcionales. Las etapas principales de esta búsqueda son las siguientes:

Identificación y evaluación de la información: el tema de investigación fue seleccionado con el propósito de darle un uso a los subproductos de la papaya por los diferentes beneficios que estos presentan, como su contenido de nutrientes, sus propiedades bioactivas, funcionales y como estos pueden llegar a incorporarse en la formulación de diversos productos alimenticios. Disminuyendo así, la contaminación por la generación de residuos alimentarios, los cuales causan impactos negativos en el medio ambiente.

Diseño de estrategias de recopilación de la información: en esta etapa se accedió a documentos confiables en la red y en la base de datos de la Universidad del Valle, como Scholar Google, Scopus y ScienceDirect empleando la ecuación de búsqueda (Papaya OR *Carica papaya* AND Papaya byproducts OR Papaya waste), las cuales fueron las fuentes de investigación. Para la recolección de datos se emplearon diferentes tipos de documentos, considerando artículos, tesis y estudios científicos que cumplen con los criterios establecidos.

Valoración de la información importante: para lograr este fin, se realizó un análisis de la información más relevante obtenida mediante la búsqueda, enfocada en los criterios establecidos,

por lo tanto, se seleccionó la información de acuerdo con los objetivos específicos planteados en este trabajo.

Análisis de la información: la información disponible se escogió según los objetivos del presente trabajo, considerando factores como el año de publicación (que abarcan desde el año 2016 hasta el 2023), el país de origen, área de estudio y tipo de publicación.

Teniendo en cuenta la información previa y empleando Scopus como la base de datos principal para realizar la búsqueda de este trabajo, según los criterios establecidos, se obtuvieron los siguientes resultados que se pueden observar en las siguientes figuras 1, 2, 3 y 4.

En la figura 1, se muestra la cantidad de publicaciones por año asociadas con los subproductos de *Carica papaya* para la elaboración de productos funcionales y se observa que las investigaciones sobre los subproductos de esta fruta del 2016 hasta el 2017 disminuyó, pero a partir de ese mismo año la tendencia a investigar sobre este tema aumentó.

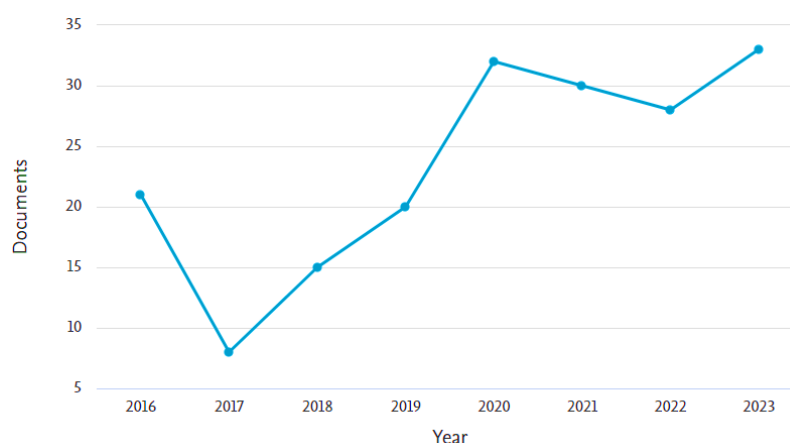


Figura 1. Publicaciones por año asociadas con subproductos de *Carica papaya* para la elaboración de productos funcionales.

Fuente: Scopus (2024).

En la figura 2, se presenta el número de documentos publicados por algunos países, en donde se observa que India es el país que más ha aportado con investigaciones relacionadas al tema respecto a los subproductos de la papaya, seguido de Indonesia y Nigeria.

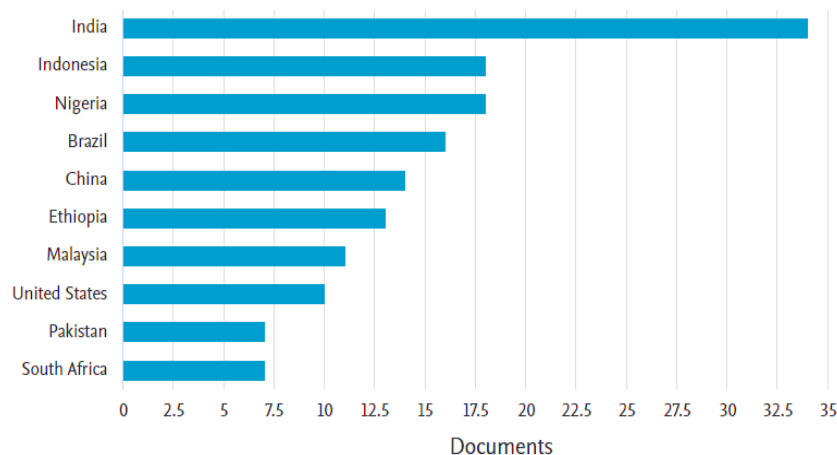


Figura 2. Países con mayor número de publicaciones relacionadas con subproductos de *Carica papaya* para la elaboración de productos funcionales.

Fuente: Scopus (2024).

En la figura 3, se expone las diferentes áreas de estudio donde se realizaron investigaciones sobre subproductos de *Carica papaya* en la elaboración de productos funcionales, en donde el área de las ciencias agrícolas seguido de otros, bioquímica, farmacología y medicina, son las de mayor aplicación.

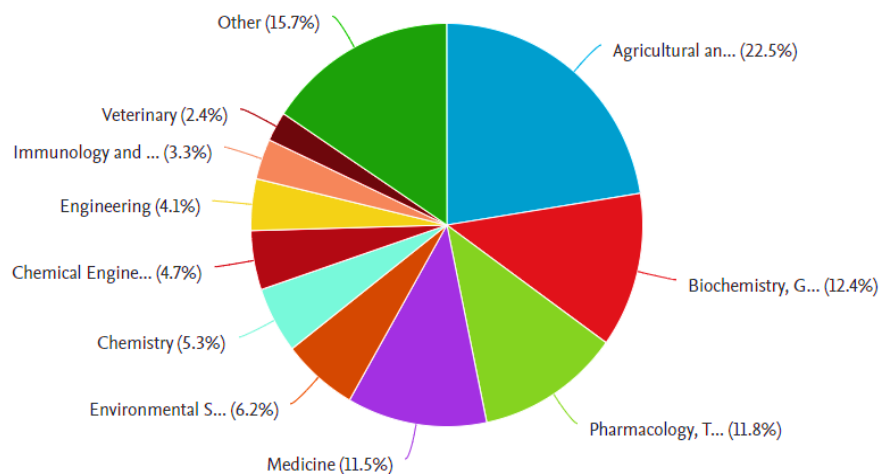


Figura 3. Diferentes áreas de estudio que realizaron investigaciones asociadas con subproductos de *Carica papaya* para la elaboración de productos funcionales.

Fuente: Scopus (2024).

En la Figura 4, Se indican los diferentes tipos de documentos publicados los cuales tienen que ver con subproductos de *Carica papaya* en la elaboración de productos funcionales, siendo los artículos el tipo de documento más publicado seguido de las revistas.

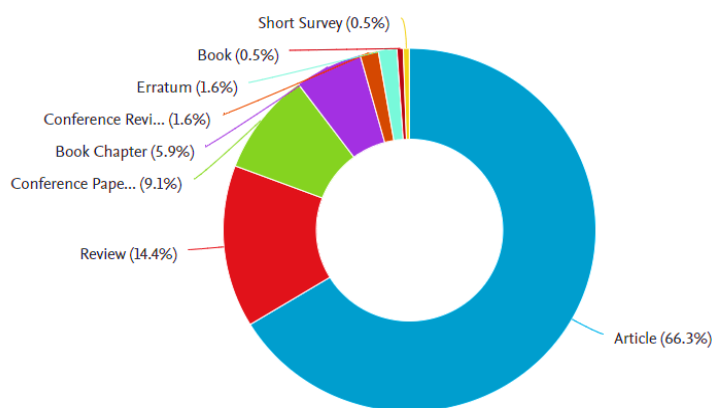


Figura 4. Diferentes tipos de documentos asociadas con subproductos de *Carica papaya* para la elaboración de productos funcionales.

Fuente: Scopus (2024).

Esta investigación es importante, puesto que gran parte de la información recopilada se requiere para dar cumplimiento a los objetivos planteados y poder realizar análisis basados en datos reales, respaldar hipótesis con evidencias científicas, identificar tendencias y patrones en cuanto a los productos generados a partir de los subproductos de *carica papaya*. Cabe mencionar que toda la información facilita la comparación y evaluación de alternativas, contribuyendo a soluciones más efectivas y fundamentadas.

3. Marco teórico

3.1 Papaya “*Carica papaya*”

El árbol *Carica papaya* es originario de América Central y del Sur y es una de las plantas frutales más cultivadas en el mundo, especialmente en zonas tropicales y subtropicales (Hueso et al., 2015). En Colombia, particularmente se cultiva entre los 0 a los 1.200 m.s.n.m., a una temperatura promedio entre los 17 y 25 °C. Se caracteriza por ser una planta herbácea perenne, de látex lechoso que puede alcanzar los 12 m de altura. Tiene una producción de frutos durante todo el año, y cada fruto pesa entre 1000 y 3000 g (Krishna et al., 2008), su tamaño varía entre 15 a 50 cm de longitud y de 10 a 20 cm de diámetro (Anwar et al., 2018). Según la FAO, es una fruta de forma ovoide que puede variar de casi esférica a oblonga o periforme. Posee una cavidad cuyo tamaño puede ser pequeño o mayor que la mitad del diámetro del fruto, en donde se encuentran las semillas que son de color negro (Velasco, 2020).

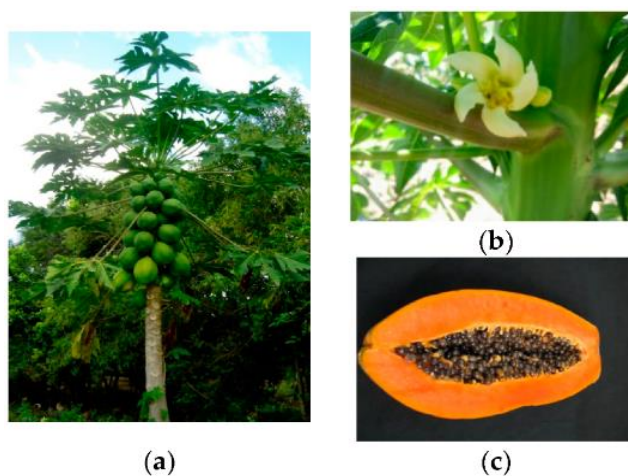


Figura 5. Imágenes de *Carica papaya* L. (papaya CV Formosa): (a) Árbol con hojas y frutos verdes, (b) flor femenina y (c) fruto maduro con semillas y pulpa. LF Santana.

Fuente: LF Santana. (2019).

Los beneficios medicinales de la papaya incluyen propiedades antioxidantes, antiobesidad (es decir, se refiere a todo aquello que combate, previene o trata la obesidad), antibacterianas, antifúngicas e hipotensivas, incluso contiene enzimas y compuestos biológicamente activos (Navarro et al., 2016). También sobresalen las vitaminas A, E, C y el ácido fólico. A su vez, tiene minerales como potasio y magnesio. Además, por sus altos niveles de fibra y bajo contenido calórico es recomendable incluirla en la dieta diaria. Incluso, posee alcaloides, los cuales son usados tradicionalmente para tratar las lombrices intestinales. (Asohofructol, 2022) Es importante mencionar que el contenido total de compuestos fenólicos presente en las cáscaras de algunas frutas tropicales como la papaya es 1.2 veces mayor que en la semilla (Vargas et al., 2019). Del mismo modo, las semillas y la piel de la papaya presentan actividad antimicrobiana contra *Salmonella choleraesuis* y *Staphylococcus aureus*, por lo cual sus aplicaciones médicas son sumamente importantes (Velasco, 2020).

3.2 Producción de papaya

Las principales variedades de Papaya cultivadas en Colombia son: Maradol, Hawaiana, Melona y Redonda, las cuales se comercializan en los principales mercados mayoristas del país (PTP, 2013). En la Figura 6, se presentan los principales países productores a nivel mundial. A nivel nacional la producción y venta de papaya presentan un crecimiento cada año, este aumento se puede corroborar con los valores proporcionados por el Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, en las figuras 7 y 8, se muestra la cantidad y el valor en USD de ventas de la papaya en cuanto a exportación e importación en Colombia desde el año 2016 hasta el 2020.

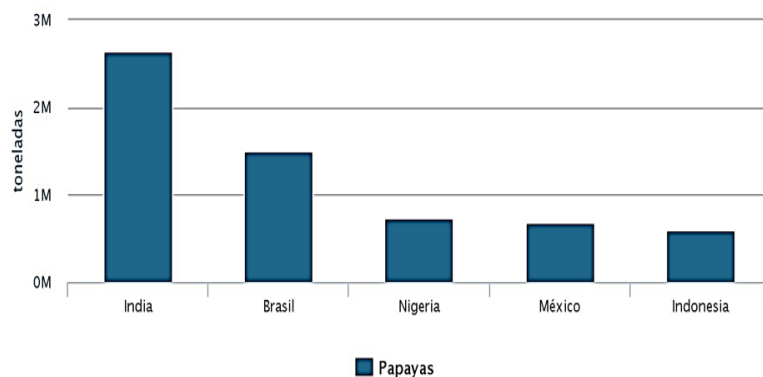


Figura 6. Principales productores a nivel mundial de papaya. M (Millón).

Fuente: FAOSTAT (2016) citado en Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

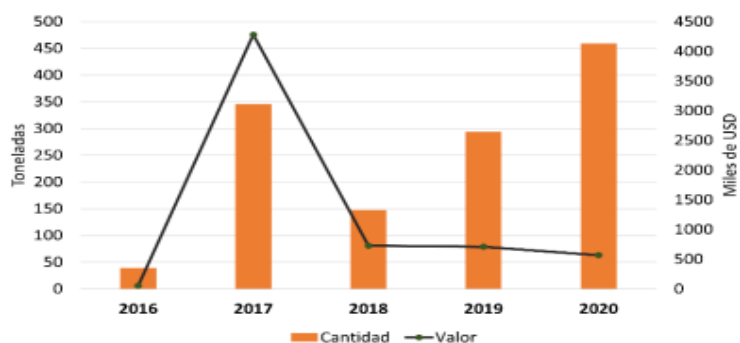


Figura 7. Exportación de papaya en Colombia desde 2016 a 2020.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

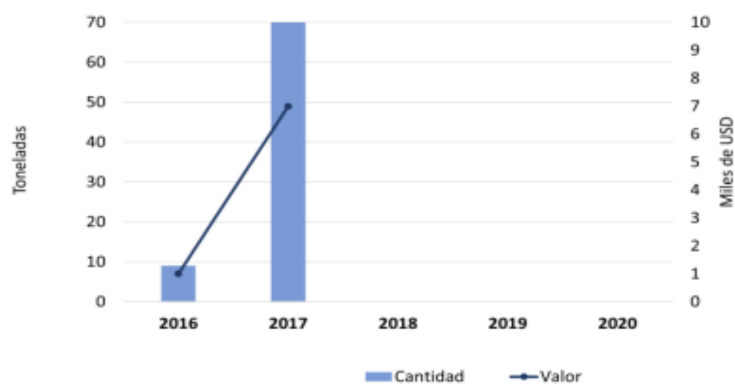


Figura 8. Importación de papaya en Colombia desde 2016 a 2020.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

Colombia es considerado un país ampliamente productor de papaya y en los últimos años ha dejado de importar papaya y la exportación de esta ha aumentado, haciendo que a nivel internacional Colombia se caracterice por su alto valor agregado en la producción de este fruto por sus bondades climáticas. Actualmente los cuatro principales departamentos productores abarcan aproximadamente el 75% de la producción nacional (PTP, 2013). En el departamento de Córdoba se produce la mayoría de papaya Hawaiana que se consume principalmente en los almacenes de cadena de Bogotá, mientras que Meta es el mayor abastecedor de papaya Maradol y Melona que se consume principalmente en los mercados mayoristas de la ciudad y el oriente colombiano. Los demás departamentos producen diferentes tipos de papaya que se comercializan principalmente para autoconsumo de la región con baja participación en el mercado de la capital (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016).

Por otra parte, en cuanto al contexto de ciencia y tecnología e innovación, la demanda de papaya presenta un crecimiento, puesto que Colombia ha presentado 31 grupos de investigación asociados a papaya para un total de 22 publicaciones científicas, en donde sus principales temáticas de investigación han sido enfocadas en: evaluación de las propiedades nutricionales y antioxidantes de las frutas tropicales, efecto de la iluminación con diodos emisores de luz de 405 ± 5 nm para la inactivación fotodinámica de *Salmonella spp* sobre papaya recién cortada, predicción de la maduración de la papaya con imágenes digitales, película de envasado biodegradable y comestible a base de puré de papaya, gelatina y proteína de soja desgrasada (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016).

3.3 Componentes de la papaya

A continuación, se presentan algunos de los componentes que se dan a partir de la transformación de alimentos en la industria agroindustrial, alimentaria, cosmética, entre otros. Los cuales poseen un potencial importante para la salud, pero por desconocer estos, muchos de ellos son desechados, desperdiciando su composición química que pueden ser utilizados en la elaboración de nuevos productos con un beneficio económico y funcional.

1.2.1 Semillas

Carica papaya puede tener 600 semillas o más, el embrión es recto y ovoide, con cotiledones aplanados, están recubiertas por un tejido mucilaginoso llamado sarcotesta, derivado de la epidermis pluriestratificada del tegumento externo. Son de color negro, de forma redondeadas u ovoides, se concentran en el saco seminal, alcanzan su madurez al tiempo que el fruto madura siendo el resultado de óvulos fecundados. La semilla es una rica fuente de proteínas (27.8% con grasa, 44.4% sin grasa), lípidos (28.3% sin grasa) y fibra cruda (22.6% Con grasa, 31.8% sin grasa). De los tóxicos estimados, los glucosinolatos se encuentran en la proporción más alta. La semilla es baja en monosacáridos libres y el aceite de semilla es bajo en yodo (74.8 I₂/g), ácidos grasos libres (0.94%) y caroteno (0.02 ug/g), y alto en ácido graso oleico, seguido de palmítico, linoleico. y ácidos esteáricos (Paternina, 2020).

En la Tabla 1, se presenta la relación de componentes, cantidad que logra extraerse, técnicas de extracción y aplicaciones de las semillas de papaya, de acuerdo con Paternina (2020).

Tabla 1. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de las semillas de papaya.

Componente	Cantidad extraíble (% del peso seco)	Técnicas de extracción	Aplicaciones principales
Aceites/Lípidos	28,30%	- Extracción con solventes (hexano)	- Producción de biodiesel y jabones
		- Prensa de tornillo	- Cosméticos y aceites terapéuticos
		- Líquidos supercríticos	- Suplementos alimenticios y cocina gourmet.
		- Extracción asistida por ultrasonido	
Proteínas	27,8% a 44%	- Extracción asistida por enzimas	- Alimentos enriquecidos en proteínas
		- Métodos mecánicos (molienda y tamizado)	- Suplementos alimenticios
			- Insumo para alimentos balanceados en animales.
Fibra cruda	22,60%	- Secado y molienda	- Fortificación de productos alimenticios (harinas y galletas)
		- Incorporación directa en formulaciones	- Mejora de tránsito intestinal.
Carbohidratos totales	11,67%	- Procesamiento térmico y molienda	- Ingrediente en harinas funcionales
		- Hidrolisis enzimática	- Producción de gachas y productos panificados.
Vitaminas y minerales	Varía según tipo y madurez de la semilla	- Extracción acuosa	- Suplementos vitamínicos y fortificación de alimentos
		- Métodos por lixiviación	- Mejora de formulaciones nutritivas en harinas y mezclas.
Compuestos bioactivos	Antioxidantes, flavonoides, papaína	- Extracción asistida por enzimas	- Alimentos funcionales y nutraceuticos
		- Hidrodestilación	- Suplementos antioxidantes
		- Líquidos a presión	- Ablandadores de carne y coadyuvantes digestivos.
Carotenoides	Presentes en cantidades menores	- Extracción con solventes orgánicos	- Suplementos antioxidantes
		- Métodos supercríticos	- Pigmentos naturales para alimentos o cosméticos.

Fuente: elaboración de la autora con base en Paternina (2020).

3.3.1 Cáscara

La composición porcentual de las cáscaras de *Carica papaya* es del 12% (Nieto, 2017) son consideradas como un residuo agroindustrial, el cual presenta un potencial, debido a los diferentes componentes presentes en ella tales como fibra insoluble 26%, proteínas 18%, carbohidratos 9.69%, lípidos 2,4% y ceniza 11,85% (Mendes et al., 2014). Así mismo, expone concentraciones de ácido cafeico, ácido ferúlico y p-cumárico, además, contiene vitamina C y concentraciones altas de carotenoides, que también cumplen funciones antioxidantes y tienen un alto potencial en la industria alimentaria (Agencia UNAL, 2022). En la Tabla 2, se relacionan los componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la cáscara de papaya.

Tabla 2. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la cáscara de papaya.

Componente	Cantidad extraíble	Técnicas de extracción	Aplicaciones principales
Fibra dietética	Alta cantidad (contenido específico depende de la variedad y madurez)	- Secado al horno	- Fortificación de alimentos ricos en fibra (panes, galletas, cereales)
		- Molienda para obtener harina fina	- Mejora del tránsito intestinal.
		- Secado	- Suplementos nutricionales
Proteínas	15-18 g por 100 g	- Molienda	- Alimentos balanceados para animales
		- Análisis mediante métodos AOAC	- Fortificación de alimentos.
Carbohidratos	Presentes en sólidos solubles	- Secado y molienda	- Ingrediente en alimentos funcionales (panificados, harinas enriquecidas)
		- Medición de sólidos solubles mediante espectrofotometría	- Fuente de energía en productos dietéticos.
Vitamina C	2.96-3.37 mg/g	- Extracción mediante digestión ácido-nítrica	- Suplementos antioxidantes
		- Análisis colorimétrico	- Fortificación de alimentos para aumentar su capacidad antioxidante.
Compuestos fenólicos	5.53-5.75 mg/g	- Secado al horno y molienda	- Alimentos funcionales

Componente	Cantidad extraíble	Técnicas de extracción	Aplicaciones principales
Minerales (K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn)	Varía según tipo y madurez	- Análisis con reactivo Folin-Denis y espectrofotometría	- Productos nutraceuticos con propiedades antioxidantes.
		- Digestión ácido-nítrica	- Enriquecimiento de harinas y productos alimenticios
		- Análisis por fotometría de emisión de llama	- Fertilizantes orgánicos o fortificantes de suelos.
Azúcares solubles	Alta concentración de sólidos solubles	- Secado al horno	- Producción de harinas dulces para panadería
		- Molienda y análisis de sólidos solubles	- Ingrediente para jaleas y mermeladas naturales.

Fuente: elaboración de la autora con base en Nieto (2017) y Mendes et al. (2014)

3.3.2 Hojas

Las hojas de *Carica papaya* son de tipo palmeadas, grandes, lisas, lobuladas y pueden tener de 7 a 11 lóbulos, siendo 9 el número constante, aglomeradas en el ápice del tronco y ramas, de pecíolo largo y pueden medir de 25-75 cm de diámetro, las hojas jóvenes se conservan en la parte superior del tallo y las viejas se desprenden por sí solas, las hojas aparecen en forma alterna a lo largo del tallo; una cada cuatro días para un total de 100 hojas por año, las hojas suelen ser ricas esencialmente en ácidos fenólicos, glucósidos cianogénicos, flavonoides y alcaloides como la carpaína y pseudocarpaína, además de ser fuente de varios fitoquímicos bioactivos como quercetina, kaempferol, ácido cafeico, ácido protocatequiico (APCC), apigenina, entre otros (Khor et al., 2021). Estos compuestos han ayudado mucho para la prevención de enfermedades virales reportando beneficios de la hoja de *Carica papaya* como ha sido el caso en los tratamientos en pacientes infectados por dengue (Hoa & Van, 2017). En la Tabla 3, se relacionan los componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la hoja de papaya.

Tabla 3. Relación de componentes, cantidad, técnicas de extracción y aplicaciones de la hoja de papaya.

Componente	Cantidad extraíble	Técnicas de extracción	Aplicaciones principales
Carpaína (alcaloide)	Representa el 63% de los alcaloides (0,2% del material seco)	- Extracción inicial con EtOH	- Uso en terapias complementarias contra el cáncer
		- Extracción con CH ₂ Cl ₂ bajo condiciones ácidas y alcalinas	- Potenciador del sistema inmunológico (mediador de citocinas Th1).
		- Cromatografía	
		- Cristalización	
Papaína y quimopapaína (enzimas proteolíticas)	Alta concentración variable	- Secado y extracción acuosa o con EtOH	- Usos en digestión de proteínas (industria alimentaria y médica)
Carotenoides	No especificado	- Extracción con solventes orgánicos (acetona, EtOH)	- Producción de suplementos digestivos.
		- Extracción etanólica o acuosa	- Antioxidantes en productos nutracéuticos
Flavonoides	Alta concentración relativa	- Cromatografía para aislamiento	- Fortificación de alimentos.
			- Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias
Monoterpenoides	No especificado	- Extracción con solventes volátiles	- Uso en cosméticos y suplementos.
Glucosinolatos	No especificado	- Extracción con solventes específicos y purificación	- Ingrediente en productos con actividad antimicrobiana y anticancerígena.
Minerales (Ca, Mg, Zn, etc.)	Varía según el tipo y condición de las hojas	- Digestión ácido-nítrica	- Propiedades anticancerígenas y detoxificantes.
		- Análisis espectrofotométrico	- Suplementos minerales
Vitaminas (A, C, E)	No especificado	- Extracción con solventes acuosos	- Uso en alimentos fortificados.
		- Cromatografía	- Antioxidantes en alimentos y productos nutracéuticos.

Fuente: elaboración de la autora con base en Hoa & Van (2017)

1.3 Potencial de los subproductos de la papaya en la elaboración de productos funcionales.

Los subproductos, como la cáscara, las semillas y las hojas, a menudo se pasan por alto y se descartan como desechos, sin embargo, investigaciones recientes han ahondado sobre los posibles beneficios para la salud de estos residuos agrícolas provenientes de la papaya.

Romo et al. (2020), obtuvieron polvos de cáscaras de papaya, para determinar el mejor proceso y evaluar sus posibles aplicaciones, donde concluyeron que el mejor método de deshidratación para estas cáscaras, fue la liofilización y que los polvos con un tamaño de partícula $>300\text{ }\mu\text{m}$ pueden ser utilizados como espesantes y mejoradores del contenido de fibra, mientras que los polvos con tamaño de partícula $250\text{ a } <180\text{ }\mu\text{m}$ pueden utilizarse como sustitutos alimenticios para mejorar la calidad nutricional en la producción de nuevas matrices alimenticias.

Nieto (2017), desarrolló una metodología para la producción de concentrados de fibra dietaria de pulpa y cáscara de papaya con propiedades fisicoquímicas y funcionales, para aplicaciones en la industria de alimentos. En cuanto al concentrado de fibra dietaria (CDF) de cáscara de papaya, encontraron que esta presentó la mayor capacidad de absorción de aceite y contenido de compuestos fenólicos, otorgando una característica importante a este concentrado, debido a su posible aporte de actividad antioxidante en la formulación de un alimento y en el organismo.



Figura 5. Resultado obtenido de concentrado de fibra dietaria cáscara.
Fuente: Nieto (2017).

Nyakundi et al. (2024), investigaron sobre los efectos de la suplementación con jugo de hoja de papaya (PL) sobre los niveles de glucosa en sangre (homeostasis de la glucosa) en ratones adultos obesos y prediabéticos, los cuales fueron inducidos por una dieta con alto contenido de grasas y azúcares durante 120 días. A los ratones le suministraron una comida restringida para roedores de 3 g de alimento/30 g de peso corporal/día, la cual fue suplementada con 3 g/100 ml de jugo PL durante 30 días. En donde la combinación de jugo PL y una dieta restringida redujo significativamente el peso corporal y los niveles de glucosa en sangre en ayunas a $43,75 \pm 1,4$ g y $126,25 \pm 3,2$ mg/dl, respectivamente. Además, el jugo PL con una dieta restringida mejoró significativamente el perfil lipídico: colesterol de 204 a 150 mg/dL, colesterol unido a lipoproteínas de baja densidad (cLDL) de 110,4 a 50 mg/dL y triglicéridos de 93,7 a 60 mg/dL. De lo cual se puede decir que las hojas de carica papaya presentan un alto potencial para la elaboración de productos funcionales.

Mahrous & Noseer (2023), realizaron un estudio para evaluar la actividad anticancerígena del extracto de semilla de *Carica papaya* en líneas celulares de cáncer colorrectal. Las células cancerígenas se evaluaron mediante la prueba MTT y utilizaron RT-PCR en tiempo real para medir los niveles de expresión génica y evaluar la actividad de los genes implicados en la apoptosis. En donde encontraron que el tamaño de las células de cáncer de colon tratadas con extracto de semilla de papaya disminuyó e inhibió el crecimiento y la proliferación de estas células de cáncer de colon. Por lo cual este subproducto puede ser utilizado en fármacos y productos alimenticios con el fin de contribuir en la salud.

Por lo tanto, la incorporación de estos subproductos en la dieta humana o su utilización en forma de extractos o suplementos puede proporcionar un enfoque natural y sostenible para mejorar el bienestar general en la salud humana.

3.4 Impacto ambiental de los desechos de la papaya

Anualmente el consumo del fruto “*carica papaya*” está incrementando alrededor del mundo, lo que trae consigo una mayor extensión de terrenos para el cultivo de este fruto (Rivera et al., 2016), además de beneficios económicos y sociales para las comunidades productoras, tal como afirman Kansime et al. (2023), la producción de papaya es una actividad económica importante en las regiones tropicales y subtropicales que contribuyen a las economías locales y nacionales, como es el caso de Kenia, en donde el sector representa el 60% de las ganancias por exportación y permite satisfacer las necesidades de subsistencia como empleo, ingresos y seguridad alimentaria para el 80% de la población, gracias a que es un fruto de alta demanda en los mercados nacionales e internacionales con un crecimiento entre el 15% y 20% anual, además, en la producción se involucra principalmente a mujeres y jóvenes a lo largo de la cadena de valor, proporcionando medios de vida para estas comunidades.

Adicionalmente, Cisneros-Saguilán et al. (2023), afirman que el cultivo de la papaya representa una fuente importante de ingresos dado que es la tercera fruta tropical más consumida y, en países como México, genera alrededor de 1.08 millones de toneladas al año destacándose entre los líderes de exportaciones a nivel mundial, específicamente en el estado de Oaxaca en donde esta actividad se destaca por su rentabilidad y capacidad de generación de empleo, mientras que desde un punto de vista social, su producción trae beneficios a las familias que la cultivan en las comunidades rurales.

No obstante, el incremento a nivel mundial del cultivo de la papaya también trae consigo un mayor consumo de los recursos naturales como el agua. El cultivo de este fruto genera igualmente residuos los cuales requieren de un aprovechamiento ya sea en subproductos funcionales o como materia prima de compostaje (Rivera et al., 2016).

Según Jurado-Erazo et al. (2022), el Índice de Generación de Residuos (IGR) para la papaya presenta los siguientes valores:

- Cáscaras: Representan el $14,90 \% \pm 1,57$ del peso total de la fruta.
- Semillas: Representan el $11,92 \% \pm 2,31$ del peso total de la fruta.
- Total para la fruta (IGR total): Suma un $26,82 \% \pm 2,79$, considerando cáscaras y semillas juntas.

Esto significa que aproximadamente el 27 % del peso de la papaya corresponde a residuos (cáscaras y semillas), con una mayor proporción de cáscaras en comparación con las semillas.

Es importante tener en cuenta que los residuos de las frutas, como los de la papaya, hoy generan un impacto ambiental significativo dado que representan en promedio alrededor del 50% de la fruta fresca utilizada, de esta manera, estos residuos que incluyen cáscaras y semillas generalmente terminan en los rellenos sanitarios contribuyendo al incremento de residuos orgánicos y los malos olores, así como la emisión de gases de efecto invernadero provocados por su descomposición anaeróbica, sin desconocer, que el desperdicio de esos residuos implica la subutilización de su potencial como fuente de nutrientes, antioxidantes, o biomasa aprovechable, es por esto que resulta importante enfocarse en el aprovechamiento de estos residuos para convertirse en materiales útiles como harinas, bioplásticos, pigmentos, biofertilizantes, aceites y carbón activado, lo que reduce su disposición como basura y disminuye su impacto ambiental, adicionalmente, esta reutilización contribuye a la sostenibilidad, reduce la presión sobre los vertederos y promueve una economía circular en la agroindustria (Jurado-Erazo et al., 2022).

3.5 Tabla de antecedentes investigativos

A continuación, se muestra la tabla 4 con el resumen de investigaciones realizadas en cuanto a algunos de los subproductos de la papaya y aplicaciones. Insumo importante para la profundización en el tema.

Tabla 4. Resumen de antecedentes reportados sobre subproductos de *Carica papaya* desde el 2016 hasta el 2024.

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	RESULTADOS	REFERENCIAS
PAPAYA "Carica papaya"			
Evaluación del potencial nutracéutico y antibacteriano del extracto de semillas de papaya andina (<i>Vadconcellea pubescens</i> A. DC.) Frente a salmonella enteritidis y <i>Escherichia coli</i>	Determinar el potencial nutracéutico de las semillas de papaya andina (<i>Vasconcellea pubescens</i> A. DC), con capacidad de prevención de enfermedades no transmisibles (ECNT). Asimismo, evaluar la actividad antimicrobiana frente a principales patógenos transmitidos por alimentos.	El extracto metanólico y extracto clorofórmico de semillas de papaya andina (<i>Vasconcellea pubescens</i> A. DC) presentó una actividad antioxidante y compuestos bioactivos que se podrían utilizar como alternativa en la elaboración de alimentos funcionales para la prevención de ECNT.	Illescas, M. Micaela, V. (2022). Evaluación del potencial nutracéutico y antibacteriano del extracto de semillas de papaya andina (<i>Vadconcellea pubescens</i> A. DC.) Frente a salmonella enteritidis y <i>Escherichia coli</i> . [Tesis de grado, Universidad Científica del Sur, Perú]. https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2672/TL-Illescas%20M-Ext.pdf?sequence=5
Propiedades funcionales de semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	Determinar las propiedades funcionales de la harina de semilla de papaya para su mejor aprovechamiento.	La capacidad emulsificante fue mayor en la harina con grasa que sin ella y esta se podría utilizar como aditivo en la preparación de mayonesas, como espesante en la elaboración de moles y pipianes.	Navarro, Cruz, Rojas, Centeno., Hernández, Lazcano., Martín, López, Vera. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya (<i>Carica papaya</i> L.). Revista de ciencias de la salud. 3-7: 48-57. © ECORFAN-Bolivia. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_de_la_Salud/vol3num7/Revista_Ciencias_de_la_Salud_V3_N7_7.pdf
Polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de papaya: producción y caracterización	Contribuir en la revalorización de los subproductos de papaya, provenientes de dos pequeñas industrias del estado de Aguascalientes, mediante la producción de polvos alimentarios producidos por diferentes métodos y evaluando sus propiedades, para establecer su efectividad como ingredientes alimenticios y sus posibles aplicaciones en la producción de nuevas matrices alimenticias.	Los polvos producidos, pueden considerarse inocuos y aptos para consumo humano según el CODEX Alimentarius. El tamaño de partícula de los polvos interfiere en sus propiedades, ya que a mayor tamaño de partícula son menos ácidos y existe un mayor porcentaje de FDI, CRA y CRAC. El proceso de deshidratación interfiere en estas propiedades ya que los polvos liofilizados presentaron un menor contenido de FDI, pero mayor porcentaje de CRA y CRAC.	K. F. Romo Zamarrón, L. E. Pérez Cabrera, R. E. Ramírez Camillo, y G. C. Dias Narvaez. (2020). Polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de papaya: producción y caracterización. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 5. 692-697.
Desarrollo de una metodología para la producción de concentrados de fibra dietaria de pulpa y cáscara de papaya (<i>Carica papaya</i> L.), con propiedades fisicoquímicas y funcionales optimizadas para aplicaciones en la industria de alimentos	Estudiar metodologías para la producción de concentrados de fibra dietaria a partir de pulpa y cáscara de papaya (<i>Carica papaya</i> L.), las cuales combinan la aplicación de tratamientos con soluciones etanólicas (primera etapa) con una posterior deshidratación con radiaciones no-ionizantes de microondas o por convección con aire caliente (segunda etapa).	Los concentrados de fibra dietaria producidos, mostraron un gran potencial para ser usados como ingredientes en la formulación de nuevos alimentos, debido a su alta capacidad de absorción y retención de agua y su contenido de compuestos con actividad nutricional y antioxidante. Las propiedades de los concentrados pueden modularse con el método de obtención y ellos pueden contribuir al desarrollo de alimentos saludables.	Nieto Calvache, Jhon Edinson. (2017). Desarrollo de una metodología para la producción de concentrados de fibra dietaria de pulpa y cáscara de papaya (<i>Carica papaya</i> L.), con propiedades fisicoquímicas y funcionales optimizadas para aplicaciones en la industria de alimentos. (Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6135_NietoCalvache

Supplementation of papaya leaf juice has beneficial effects on glucose homeostasis in high fat/high sugar-induced obese and prediabetic adult mice	Investigar las propiedades antihiperglucemiantes de la suplementación con jugo de PL en ratones adultos prediabéticos y obesos inducidos por un alto contenido de grasas y azúcar en su dieta.	La suplementación de jugo PL con la dieta restringida redujo significativamente la glucosa plasmática en ayunas ($p < 0,01$), en comparación con el grupo que se alimentó únicamente con una dieta restringida sin suplementar.	Benard B. Nyakundi; Marisa M. Muro; Jin Zeng Yang. (2024). • La suplementación con jugo de hoja de papaya tiene efectos beneficiosos sobre la homeostasis de la glucosa en ratones adultos prediabéticos y obesos inducidos por un alto contenido de grasas y azúcares. BMC Medicina y Terapias Complementarias volumen 24, Número de artículo: 18. https://doi.org/10.1186/s12906-023-04320-1
Anticancer potential of Carica papaya Linn black seed extract against human colon cancer cell line: in vitro study	Evaluar la actividad anticancerígena del extracto de semilla de <i>Carica papaya</i> en líneas celulares de cáncer colorrectal (Caco-2) utilizando técnicas para evaluar el potencial anticancerígeno y se utilizó citometría de flujo para analizar la inducción de apoptosis detectando cambios en la morfología celular y el contenido de ADN.	El tratamiento con extracto de semilla de papaya generó algunos cambios morfológicos en las células cancerígenas. Al aumentar las concentraciones de extracto, las células se encogieron y se volvieron vacías e irregulares con componentes celulares condensados. Los niveles de expresión de ARN de genes relacionados con la apoptosis demostraron que el tratamiento con extracto de semilla de papaya aumentó la expresión de genes proapoptóticos (p53 , CyCs y Casp-3) y disminuyó la expresión de genes antiapoptóticos.	Mahrous, NS & Noseer, EA. (2023). Potencial anticancerígeno del extracto de semilla negra de Carica papaya Linn contra la línea celular de cáncer de colon humano: estudio in vitro. BMC Complement Med Ther 23 271. https://doi.org/10.1186/s12906-023-04085-7

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4, muestra algunas de las investigaciones que fueron realizadas por diferentes autores, las cuales tienen en común la utilización de algunos de los subproductos de la papaya, ya sea como producto, suplementación de un producto o como ingrediente de un producto, todos estos con importantes beneficios para la salud del consumidor, lo cual los convierte en productos funcionales. Además, el empleo de estos subproductos como semillas, cáscaras y hojas, promueve el potencial de ellos incentivando a las personas, industrias, empresas y demás a darle un uso adecuado en la creación e innovación de nuevos productos alimenticios.

4. Resultados

4.1 Contenido de nutrientes en subproductos de papaya.

Para abordar el primer objetivo específico de esta investigación, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica enfocada en identificar el contenido de nutrientes clave presentes en los subproductos de la papaya (*Carica papaya*), como cáscaras, semillas y hojas. Utilizando el software Litmaps, se logró seleccionar artículos relevantes que detallan la presencia de vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes en estos subproductos, destacando su potencial valor nutritivo y su posible aprovechamiento en la elaboración de alimentos funcionales.

Litmaps es un software de análisis bibliométrico que permite visualizar y mapear el conocimiento científico a través de la identificación de patrones, tendencias y relaciones en grandes volúmenes de literatura académica. Este software es especialmente beneficioso para la investigación, ya que facilita la selección de artículos relevantes, ayuda a identificar áreas clave de estudio y muestra conexiones entre temas que podrían pasar desapercibidos en una revisión tradicional. En este contexto, Litmaps optimiza el proceso de revisión bibliográfica, asegurando una base sólida y actualizada para la investigación.

En la figura 10, se presenta el mapeo inicial a partir del término de búsqueda “*carica papaya*”, tomando como referente el estudio de Martial-Didier et al. (2017), quien llevó a cabo un estudio detallado sobre la composición nutricional de las cáscaras de la papaya (*Carica papaya* L. var solo 8), un subproducto que no había sido sistemáticamente analizado previamente. En su investigación, Martial examinó la composición proximal, el perfil de elementos minerales y la composición fitoquímica de las cáscaras de papaya. Las cáscaras fueron recolectadas frescas, secadas en horno a 45°C durante 48 horas, molidas y analizadas mediante procedimientos estándar.

Los resultados mostraron un alto contenido de proteínas (11.67%), fibra cruda (32.51%), carbohidratos (47.33%), cenizas (5.98%) y grasa (2.51%). Además, el análisis mineral reveló que las cáscaras eran particularmente ricas en potasio (516.33 mg/100g) y fósforo. En cuanto a los fitoquímicos, se observó una elevada presencia de compuestos fenólicos totales, flavonoides y taninos, con una notable capacidad antioxidante (81.89% de actividad de eliminación de radicales DPPH). Estos hallazgos sugieren que las cáscaras de papaya podrían ser una fuente potencial de antioxidantes naturales para la población local.

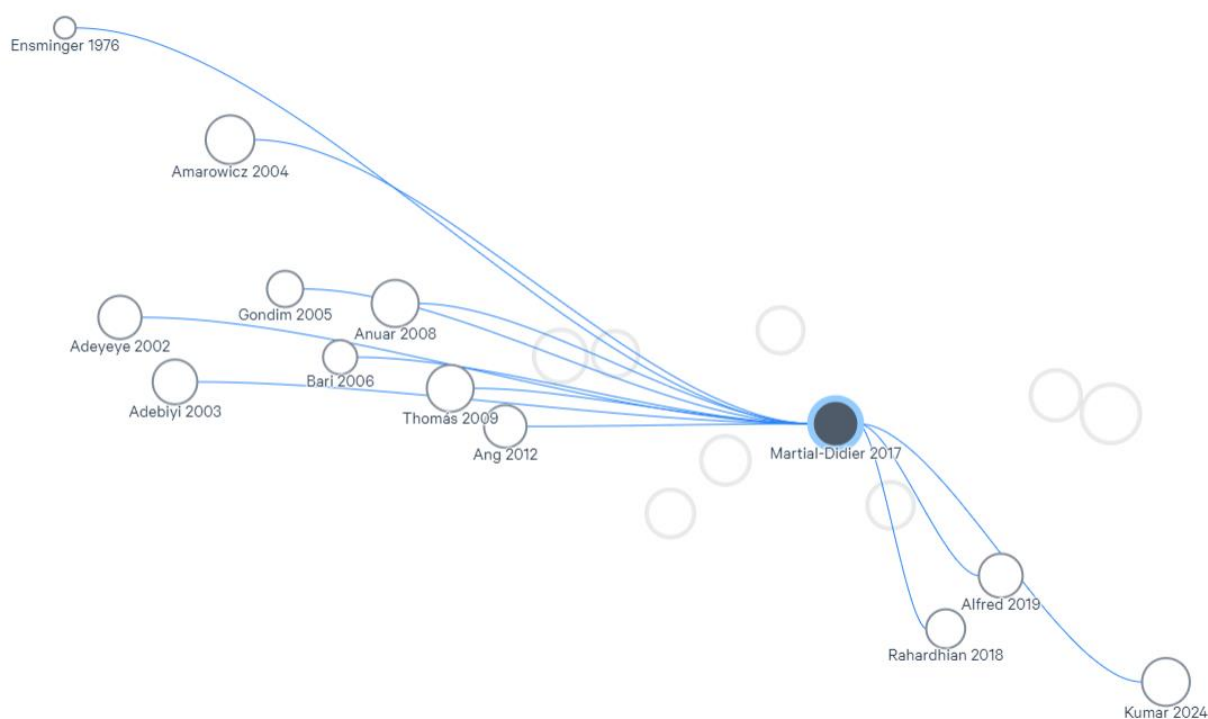


Figura 10. Mapeo inicial a partir del término de búsqueda *carica papaya*.

Fuente: Litmaps (2024).

Una importante conexión detectada a través de Litmaps es el estudio de Kumar et al. (2024) quienes realizaron una investigación sobre el potencial antioxidante y la composición de elementos minerales en frutos maduros y jóvenes, así como en hojas, de la variedad 'Red Lady' de *Carica*

papaya. Utilizando los ensayos de eliminación de radicales libres DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), evaluaron la actividad antioxidante del extracto metanólico crudo y su fracción butanólica en diferentes partes de la fruta y las hojas.

Es importante tener en cuenta que DPPH mide la capacidad de neutralizar radicales libres (basado en la donación de electrones o protones), mientras que FRAP evalúa la capacidad de reducir iones metálicos, lo que refleja el potencial antioxidante en términos de poder reductor.

Es importante considerar la diferencia entre las metodologías para evaluar la capacidad antioxidante:

DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil): Es especialmente útil para antioxidantes lipofílicos o solubles en solventes orgánicos, aunque también se usa con extractos acuosos. es efectiva para compuestos que pueden donar hidrógenos o electrones rápidamente, como fenoles, flavonoides, antocianinas y otras sustancias con grupos hidroxilo (-OH).

ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato): permite evaluar una gama más amplia de antioxidantes, incluyendo compuestos hidrofílicos y lipofílicos, como fenoles, flavonoides, carotenoides, vitaminas (C y E), y proteínas con grupos tiol.

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power): A diferencia de DPPH y ABTS, FRAP es una prueba de poder reductor que se basa exclusivamente en la transferencia de un electrón (SET). Mide la capacidad de los antioxidantes para reducir el ion férrico (Fe^{3+}) a ion ferroso (Fe^{2+}). Cuanto mayor es la absorbancia, mayor es la capacidad reductora y, por ende, la capacidad antioxidante. Detecta: compuestos fenólicos, flavonoides y la vitamina C (ácido ascórbico).

Los resultados mostraron que la fracción butanólica de las hojas jóvenes (97%) y las semillas (96.33%) tenía el mayor potencial antioxidante, seguido por las hojas maduras (81.33%) y las semillas maduras (72.67%). La composición mineral, analizada mediante ICP-MS, reveló la presencia de once elementos, destacándose el potasio como el más abundante en todas las partes

analizadas, seguido por el magnesio y el calcio. Este estudio subraya el potencial nutracéutico de *C. papaya* para combatir enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, gracias a sus propiedades antioxidantes y su contenido en minerales esenciales.

4.1.1 Composición nutricional

La *Carica papaya* (papaya) es una planta herbácea perenne apreciada por su valor nutricional, rico en vitaminas y minerales naturales, y bajo en calorías. Diversas partes de la planta, como las semillas, hojas, frutos y cáscaras, poseen valores nutricionales y medicinales (Alara et al., 2022).

Composición nutricional general:

La papaya se destaca por ser una fuente de fibra, niacina, tiamina, calcio, hierro, folato, potasio, vitamina A, vitamina C y riboflavina. Generalmente es baja en calorías (Alara et al., 2022).

Composición nutricional por partes de la planta:

• Fruto (Pulpa):

La pulpa del fruto maduro aporta bajas calorías (32-39 por 100 g) y un alto porcentaje de agua (88-89%) (Alara et al., 2022).

Es rica en carbohidratos (7.20-9.81 g/100 g), principalmente azúcares (15.15% en pulpa madura) y almidón (42.28% en pulpa inmadura).

Contiene fibra (0.80-1.80 g/100 g).

- Es una fuente importante de vitamina C (51.20 mg/100 g) y precursores de vitamina A como β -criptoxantina (594.30 μ g/100 g) y β -caroteno (232.30 μ g/100 g). La variedad 'Red Lady' también es notable por su alto contenido de vitamina A y folato (Kumar et al., 2024).

- Posee minerales como magnesio (19.20–32.70 mg/100 g), potasio, calcio y hierro. Un análisis de la variedad 'Red Lady' encontró que el potasio es el elemento más abundante en frutos

jóvenes y maduros. El sodio se encontró en concentraciones más bajas en la pulpa madura (34.83 mg kg⁻¹) en comparación con otras partes. El hierro (180.50 mg kg⁻¹ en pulpa joven y 137.95 mg kg⁻¹ en pulpa madura) y el zinc (66.63 mg kg⁻¹ en pulpa joven y 674.77 mg kg⁻¹ en cáscara madura) también están presentes (Kumar et al., 2024).

- Es deficiente en grasa y proteína.

Tabla 5. Composición nutricional y fitoquímica de subproductos de papaya

Componente	Cáscara	Semillas	Hojas
Proteínas	11.67 ± 0.04 % (Martial et al., 2017)	19.86% – 25.6% (Alara, 2020)	7 g/100 g (Alara, 2020)
Fibra dietética / Cruda	32.51 ± 0.03 % (Martial et al., 2017)	31.7% – 37.8% (Alara, 2020)	No reportado cuantitativamente, aunque se reconoce su presencia
Carbohidratos	47.33 ± 0.08 % (Martial et al., 2017)	32.5% (Alara, 2020)	No especificado
Contenido de ceniza	5.98 ± 0.03 % (Martial et al., 2017); 14–16% (Vinha et al., 2024)	No especificado	No especificado
Lípidos / Aceites	No especificado	~25% de aceite graso; ácido oleico: 73–74% (Vinha et al., 2024)	Presencia de tocoferol (vitamina E), sin datos específicos sobre grasas
Vitaminas	No reportadas directamente; alta actividad antioxidante (Ayala-Zavala et al., 2024)	β-caroteno, riboflavina, tiamina, niacina y ácido ascórbico (Alara, 2020)	Vitamina E, vitaminas del complejo B (136 mg), vitamina C (alta), carotenos (Alara, 2020)
Minerales	K: 516.33 ± 0.82 mg/100 g; P: 221.54 ± 0.85 mg/100 g; Ca, Zn, Mg, Na, Fe en menor proporción (Martial et al., 2017); Na: 166.39 mg/kg en variedad ‘Red Lady’ (Kumar, 2024)	Cu, Mg, Fe, Ca, S, Ni, Co, Mn, K y P (Alara, 2020); Fe: 106.23 mg/kg y Zn: 111.65 mg/kg en variedad ‘Red Lady’ (Kumar et al., 2024)	Ca: 334 mg/100 g, P: 142 mg/100 g, Na: 16 mg/100 g; K: 33,874.68 mg/kg (hojas jóvenes); Mg, Ca y K más altos en hojas maduras; Fe: 42.48 mg/kg (jóvenes) y 201.03 mg/kg (maduras); Zn: 109.61 mg/kg (jóvenes), 89.46 mg/kg (maduras) (Alara, 2020)

Componente	Cáscara	Semillas	Hojas
Compuestos fitoquímicos	Polifenoles: 65.48 ± 0.39 mg GAE/100 g DW; Flavonoides: 5.58 ± 0.83 mg QE/100 g DW; Taninos: 10.51 ± 0.93 mg TAE/100 g DW (Martial et al., 2017); alta actividad antioxidante (Ayala-Zavala et al., 2024)	Taninos: 6.35 g/100 g DW; Bencil isotiocianato (Alara, 2020)	Alcaloides (carpaína, pseudocarpaína), enzimas (cistatina, quimopapaína, papaína), saponinas, taninos, tocoferol, flavonoides, ácido ascórbico, ácido nicotínico, compuestos fenólicos (Alara, 2020)
Actividad antioxidante	Alta (mayor incluso que la pulpa en algunas variedades) (Ayala-Zavala et al., 2024)	No especificado directamente, pero presencia de compuestos fenólicos sugiere actividad antioxidante	Elevada, asociada a compuestos fenólicos y vitamínicos (Alara, 2020)

Fuente: elaboración de la autora.

El examen detallado de los subproductos de *Carica papaya* —cáscara, semillas y hojas— permite identificar diferencias notables en su composición que, lejos de competir entre sí, sugieren aplicaciones complementarias dentro de la industria de alimentos funcionales. Las semillas, por ejemplo, destacan por su densidad proteica, con valores que pueden alcanzar hasta un 25,6%, y por su considerable contenido lipídico (~25%), donde el ácido oleico se impone como principal componente graso, haciéndolas especialmente atractivas para desarrollos enfocados en nutrición deportiva o formulaciones con perfil cardioprotector (Alara, 2020; Vinha et al., 2024). Su aporte en fibra (31,7%–37,8%) y minerales como hierro y zinc (Kumar et al., 2024), junto con la presencia de taninos y bencil isotiocianato, refuerzan su versatilidad como ingrediente bioactivo.

En contraste, la cáscara sobresale por su altísimo contenido de fibra dietaria (32,51%) y carbohidratos (47,33%), sumado a una riqueza significativa en compuestos fenólicos, flavonoides y taninos, con valores que superan los 65 mg GAE/100 g en algunos casos (Martial et al., 2017),

lo que la convierte en un excelente aditivo para productos con beneficios digestivos y antioxidantes, desde panadería enriquecida hasta mezclas instantáneas funcionales. Además, su concentración de potasio y fósforo, así como un contenido de cenizas de hasta 16% (Vinha et al., 2024), sugiere una ventaja adicional como fuente mineral natural.

Por su parte, las hojas, aunque más discretas en términos proteicos (7 g/100 g), muestran un perfil micronutricional robusto: potasio en cantidades excepcionales (más de 33.800 mg/kg en hojas jóvenes), calcio, fósforo, hierro, zinc y vitaminas como la E, C y del complejo B, lo que les confiere un enorme potencial en formulaciones orientadas a la inmunonutrición o la desintoxicación (Alara, 2020; Kumar et al., 2024). A ello se suma una amplia presencia de compuestos bioactivos —alcaloides, flavonoides, papaína— que les otorgan propiedades antiinflamatorias, digestivas y antioxidantes, claves en suplementos verdes o infusiones terapéuticas.

Así, no se trata de cuál subproducto es "mejor", sino de entender que cada uno responde a necesidades distintas dentro del espectro funcional: las semillas encajan mejor en productos energéticos o ricos en lípidos saludables; la cáscara, en matrices fibrosas, antioxidantes y prebióticas; y las hojas, en mezclas dirigidas al bienestar general, con énfasis en lo inmunológico. Aprovechar esta diversidad no solo amplía el portafolio de ingredientes funcionales, sino que también aporta a una valorización más completa de la planta, con impacto positivo en términos de sostenibilidad y economía circular.

Influencia de factores ambientales, fisiológicos, genéticos y de manejo post-cosecha en la composición nutricional:

La composición nutricional de la papaya puede variar significativamente debido a diversos factores que afectan su contenido de azúcares, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. A continuación, se realiza una corrección e incluye información respaldada por citas relevantes:

Etapas de madurez: Los niveles de azúcares aumentan durante la maduración, mientras que el contenido de almidón disminuye. Por ejemplo, Kumar et al. (2024) señalaron que en frutos inmaduros predomina el almidón (42,28 %), mientras que en frutos maduros se incrementan los azúcares simples, como la fructosa (15,15 %), lo que mejora su dulzor y sabor.

Variedad del cultivar: Existen diferencias significativas entre variedades. Por ejemplo, la variedad Red Lady es destacada por su alto contenido de vitamina A, potasio (33.874,68 mg/kg) y hierro (180,50 mg/kg en pulpa inmadura), características nutricionales que respaldan su uso como fruta funcional (Kumar et al., 2024). En comparación, la variedad Maradol, ampliamente cultivada en América Latina, muestra niveles más bajos de estos micronutrientes, por ejemplo, estudios han reportado concentraciones de potasio de aproximadamente 21.000 a 25.000 mg/kg y contenidos de hierro cercanos a 90 mg/kg en la pulpa madura de esta última (Ayala-Zavala et al., 2024), lo que sugiere que Red Lady podría ofrecer ventajas nutricionales más marcadas, especialmente en el contexto del diseño de alimentos funcionales con propiedades fortificantes.

Condiciones de cultivo: Factores como la exposición solar, el tipo de suelo y la cantidad de agua influyen en la composición nutricional de la papaya. Datos de Alara et al. (2022) sugieren que los niveles de minerales como el calcio y el magnesio pueden aumentar en condiciones de cultivo favorables.

Manejo post-cosecha: El almacenamiento y procesamiento después de la cosecha pueden afectar la composición. Por ejemplo, la exposición prolongada al aire reduce el contenido de vitamina C (Ayala-Zavala et al., 2024).

4.1.2 Contexto amplio y aprovechamiento

El rico perfil nutricional de la papaya contribuye a sus diversos usos tradicionales y medicinales (Kumar et al., 2024). Se utiliza para tratar problemas estomacales, ictericia, heridas, como antihelmíntico, y en el manejo de la presión arterial y la diabetes. Las hojas se emplean en el tratamiento del dengue, malaria y otras enfermedades (Alara, 2020).

Los subproductos de la papaya, como las cáscaras y las semillas, son fuentes valiosas de nutrientes y compuestos bioactivos (Parniakov et al., 2015). Esto abre la posibilidad de su valorización en diversas industrias:

- **Alimentaria:** Para la producción de mermeladas, dulces cristalizados (Bolom et al., 2017), harinas, ingredientes funcionales (Vinha et al., 2024), y potencialmente como prebióticos debido a su contenido de fibra y azúcares simples. La fermentación ácido láctica (FAL) es una estrategia biotecnológica para valorizar estos subproductos, aumentando la concentración de antioxidantes (Ayala et al., 2024).

- **Farmacéutica y Cosmética:** Debido a la presencia de compuestos antioxidantes, antiinflamatorios y otros compuestos bioactivos (Alara, 2020). Se han demostrado efectos antihipercolesterolémicos y antivirales en productos fermentados de papaya (Ayala et al., 2024). Los extractos de diferentes partes de la planta también han mostrado propiedades antibacterianas, antitumorales y antimicóticas (Kumar, 2024).

- La **fermentación ácido láctica (FAL)** de la papaya y sus subproductos puede potenciar la liberación y modificación de compuestos fenólicos, mejorando su capacidad antioxidante (Ayala et al., 2024).

En conclusión, la *Carica papaya* es una planta con un valor nutricional significativo en todas sus partes, con variaciones influenciadas por diversos factores. Su rica composición no solo sustenta su consumo como fruta, sino que también presenta un gran potencial para el

aprovechamiento de sus subproductos en diversas industrias, especialmente a través de estrategias como la fermentación ácido láctica para la obtención de compuestos bioactivos de alto valor.

1.4 Beneficios funcionales y nutricionales

1.4.1 Propiedades fitoquímicas

La *Carica papaya* (papaya), como se ha indicado anteriormente, tiene propiedades fitoquímicas que desempeñan un papel fundamental. Diferentes partes de la planta, como las semillas, hojas, frutos y cáscaras, contienen una variedad de compuestos bioactivos responsables de sus valores nutricionales y medicinales.

Tabla 6. Componentes fitoquímicos en distintas partes de la papaya (*Carica papaya*)

Parte de la planta	Componentes fitoquímicos identificados
Fruto (Pulpa y Cáscara)	- Carotenoides y polifenoles en pulpa y cáscara.
	- Cáscara de variedad 'Solo 8': fenólicos totales (65.48 ± 0.39 mg GAE/100 g DW), flavonoides (5.58 ± 0.83 mg QE/100 g DW), taninos (10.51 ± 0.93 mg TAE/100 g DW), y alta actividad antioxidante DPPH ($81.89 \pm 0.14\%$).
	- Cáscara de variedad Maradol: ácido gálico, ácido cafeico, ácido ferúlico, quercetina, miricetina, kaempferol, ácido p-cumárico.
	- Ácido cafeico ($4.6\text{--}6.8$ g/100 g DW) y ácido ferúlico ($13.3\text{--}16.2$ g/100 g DW) como compuestos principales.
	- Jugo del fruto inmaduro de 'Red Lady': presencia de glucósidos con actividad antioxidante.
Semillas	- Vitaminas: β -caroteno ($0.03\text{--}0.07$ mg), riboflavina ($0.03\text{--}0.07$ mg), tiamina ($0.05\text{--}0.07$ mg), niacina ($0.2\text{--}0.3$ mg), ácido ascórbico ($8.2\text{--}12.9$ mg).
	- Bencil isotiocianato como compuesto predominante en extractos.
	- Taninos (6.35 g/100 g DW).
	- Presencia de flavonoides con capacidad inhibidora de lipasa pancreática.
Hojas	- Alcaloides: pseudocarpaina y carpaina.
	- Enzimas: cistatina, quimopapaína y papaína.
	- Vitaminas: ácido ascórbico, ácido nicotínico, tocoferol.
	- Compuestos secundarios: saponinas, taninos, flavonoides, compuestos fenólicos.

Parte de la planta	Componentes fitoquímicos identificados
Raíces, corteza y tallo	- En cultivares nigerianos: β -caroteno (0.3–0.4 mg/100 g), riboflavina (0.1–0.2 mg/100 g), tiamina (0.4–0.5 mg/100 g), niacina (0.3–0.4 mg/100 g), ácido ascórbico (25.2–38.1 mg/100 g).
	- Ácido ascórbico 2 a 3 veces superior al de hojas de calabaza y batata.
	- Carpaina presente en hojas de <i>C. papaya</i> en Vietnam.
	- Extractos de cáscara con taninos, flavonoides y compuestos fenólicos (obtenidos con acetona, etanol y agua).
	- Extractos etanólico y acuoso de raíces: terpenos, esteroides, alcaloides, saponinas, taninos y flavonoides; ausencia de carbohidratos, glucósidos y antraquinonas.
	- Corteza: abundancia de quinonas; presencia moderada de saponinas; y presencia regular de compuestos fenólicos, cumarinas, antocianinas y alcaloides.

Fuente: elaboración de la autora con base en Alara (2020), Kumar (2024), Vinha (2024).

La anterior tabla 6 permite visualizar la diversidad de metabolitos secundarios presentes en la papaya y sus diferentes estructuras, lo cual es esencial para estudios orientados al aprovechamiento de estos subproductos en industrias alimentaria, farmacéutica o cosmética.

4.1.3 Actividades farmacológicas asociadas a los fitoquímicos:

La presencia de estos diversos fitoquímicos contribuye a las múltiples actividades farmacológicas de la *C. papaya*:

Tabla 7. Actividades biológicas asociadas a los compuestos de *Carica papaya*

Propiedad biológica	Parte de la planta involucrada	Compuestos o elementos asociados	Observaciones
Antioxidante	Fruto (pulpa y cáscara), hojas, semillas	Polifenoles, carotenoides, flavonoides	La fermentación ácido láctica (FAL) incrementa la concentración de compuestos fenólicos, mejorando la capacidad antioxidante.
Antimicrobiana	Hojas, semillas, látex	Diversos metabolitos secundarios (no especificados)	Actividad comprobada contra bacterias y hongos en estudios experimentales.

Propiedad biológica	Parte de la planta involucrada	Compuestos o elementos asociados	Observaciones
Antiinflamatoria y analgésica	Semillas, hojas	Compuestos bioactivos en extractos (no detallados en el texto)	Efectos demostrados en modelos animales, con disminución de la inflamación y el dolor.
Anticancerígena	Hojas, semillas	Bencil isotiocianato, compuestos fenólicos	Extractos acuosos de hojas exhiben actividad antitumoral; se investiga su efecto en la prevención y control del cáncer.
Antihelmíntica	Látex, semillas	Enzimas proteolíticas y metabolitos secundarios	Demostrada eficacia contra parásitos intestinales.
Cicatrizante	Látex, hojas, tallos	Enzimas (papaína), compuestos fenólicos y otros fitoconstituyentes	Utilización tradicional validada por estudios que demuestran aceleración en la regeneración de tejidos.
Antihiper glucémica	Hojas, frutos	Compuestos bioactivos no especificados	Estudios sugieren efectos antidiabéticos mediante reducción de la glucosa sanguínea.
Inmunomoduladora	Hojas	Compuestos fenólicos y posiblemente alcaloides	Extractos de hojas evidencian capacidad para modular la respuesta inmunológica.

Fuente: elaboración de la autora con base en Eng Khoo et al. (2012), Ayala (2024), Alara (2020).

1.4.2 Contexto amplio y aprovechamiento de las propiedades fitoquímicas:

Los compuestos fitoquímicos presentes en los subproductos de *Carica papaya* —como flavonoides, alcaloides, taninos, isotiocianatos y enzimas proteolíticas— han sido ampliamente documentados en la literatura por sus efectos beneficiosos sobre la salud. Estos compuestos no solo sustentan el uso tradicional de la papaya en sistemas de medicina popular, sino que también representan una oportunidad relevante para su valorización en contextos industriales emergentes.

Diversas investigaciones respaldan el potencial de estos principios bioactivos en áreas como la medicina natural, la industria nutracéutica y la formulación de alimentos funcionales. Por ejemplo, extractos de hojas han demostrado efectos positivos en el tratamiento del dengue (Hoa & Van, 2017), mientras que los compuestos presentes en semillas, como el bencil isotiocianato, han mostrado propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias con posibles aplicaciones terapéuticas.

No obstante, más allá de su eficacia individual, el verdadero valor radica en la posibilidad de aprovechar estos compuestos de forma integrada, promoviendo cadenas de aprovechamiento circular que permitan transformar residuos orgánicos en insumos funcionales de alto valor añadido.

En este sentido, el aprovechamiento de las propiedades fitoquímicas de la papaya debe analizarse dentro de un enfoque interdisciplinario y de bioeconomía, que articule investigación científica, innovación tecnológica y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad.

Nutrición: La papaya es rica en vitaminas (A, C, E), minerales (calcio, magnesio, potasio) y fitoquímicos como polifenoles que mejoran su valor nutricional, como señalaron Vargas et al. (2019).

Valorización de Subproductos: Las cáscaras y semillas de papaya, a menudo desechadas, contienen antioxidantes relevantes como carotenoides y compuestos fenólicos. Por ejemplo, Mendes et al. (2014) encontraron que la cáscara de papaya posee una alta concentración de fibra y compuestos fenólicos, útiles en la industria alimentaria.

Alimentos Funcionales y Nutraceuticos: Los fitoquímicos extraídos de la papaya, como la papaína o los flavonoides, pueden usarse para formular alimentos funcionales y suplementos dietéticos, lo que ha sido documentado por Kumar et al. (2024), destacando su capacidad antioxidante en diversas partes de la planta.

Fermentación Ácido Láctica (FAL): La FAL es una técnica biotecnológica que aumenta la concentración de compuestos fenólicos, mejorando la capacidad antioxidante de la papaya. Ayala-Zavala et al. (2024) demuestran que los productos fermentados no solo aumentan su capacidad antioxidante, sino que también presentan beneficios antivirales y antihipercolesterolémicos.

En conclusión, la *Carica papaya* es una fuente rica y diversa de compuestos fitoquímicos esenciales para el desarrollo de alimentos funcionales, productos nutraceuticos y aplicaciones en

industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Esta información está respaldada en múltiples investigaciones recientes que validan su relevancia.

1.4.3 Aplicaciones en la industria alimentaria

La papaya (*Carica papaya*) es una fruta versátil con aplicaciones destacadas en la industria alimentaria, tanto en su consumo fresco como en productos procesados.

Consumo y Procesamiento Primario:

La pulpa de papaya se consume en diversas formas según el grado de madurez del fruto. Entre sus usos destacan: papaya fresca, deshidratada, en polvo, cristalizada, en cubos, puré, mermelada, almíbar y jugo (Ayala-Zavala et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Uso de Papaína:

La papaína, una enzima extraída del tallo, el látex y el fruto, tiene amplias aplicaciones, especialmente en la industria de bebidas y como ablandador de carne (Hueso et al., 2015).

Alimento Tradicional:

En diversas regiones, las flores y hojas de papaya se cocinan como verduras. En Nigeria, por ejemplo, las semillas fermentadas se utilizan en un alimento tradicional llamado daddawa (Mosquera et al., 2023).

Desarrollo de Alimentos Funcionales y Nutraceuticos:

Los fitoquímicos presentes en la papaya, como antioxidantes y enzimas, son fundamentales en el desarrollo de productos funcionales:

- Galletas y panes elaborados con cáscara, pulpa y semillas de papaya se destacan como opciones funcionales (Illescas, 2022; Ayala-Zavala et al., 2024).

- La fermentación ácido láctica (FAL) incrementa los compuestos fenólicos, mejorando su capacidad antioxidante y abriendo oportunidades para alimentos fermentados con beneficios antivirales y antihipercolesterolémicos (Ayala-Zavala et al., 2024).
- La cáscara de papaya se utiliza para producir harinas con alto contenido de fibra y antioxidantes (Romo et al., 2020).

Bebidas y Otros Productos:

La papaya es utilizada para producir jugos, néctares, té de hierbas, chicle y otros productos con propiedades funcionales (Kokila et al., 2016).

Utilización de Residuos de Papaya

Fuente de Compuestos Bioactivos:

Los residuos como cáscaras y semillas contienen antioxidantes, compuestos fenólicos y carotenoides, esenciales en la formulación de alimentos funcionales (Navarro et al., 2016; Vargas et al., 2019).

Fermentación Ácido Láctica (FAL) para la Valorización:

La FAL transforma los residuos de papaya en recursos innovadores al potenciar su concentración de compuestos bioactivos (Ayala-Zavala et al., 2024).

La fermentación nativa mejora la extracción de fenoles en hojas de papaya, optimizando su actividad antioxidante (Romo et al., 2020).

Subproductos Alimentarios Artesanales:

La preparación artesanal de mermeladas y dulces cristalizados fomenta el aprovechamiento de sobrantes, contribuyendo a la sostenibilidad y a la economía familiar (Bolom et al., 2017).

Alimentación Animal:

Las semillas de papaya contienen enzimas y fitoquímicos beneficiosos que pueden mejorar la salud animal, mientras que la harina de hojas representa una opción alternativa en alimentos balanceados (Mosquera et al., 2023).

Extracción de Compuestos de Valor:

Se utilizan técnicas como campos eléctricos pulsados para extraer proteínas y fenólicos de las semillas, optimizando su uso industrial (Parniakov et al., 2015).

Impacto Ambiental y Económico:

La valorización de los residuos agroindustriales de papaya, como cáscaras y semillas, reduce el impacto ambiental y aporta soluciones sostenibles, alineándose con la economía circular (Minambiente, 2019; Kansiime et al., 2023)

5. Compendio de información

Del análisis bibliográfico realizado, se concluye que los subproductos de la papaya (*Carica papaya*), particularmente la cáscara, las semillas y las hojas, contienen una diversidad significativa de nutrientes clave que los posicionan como insumos de alto valor para el desarrollo de alimentos funcionales. La cáscara, especialmente en variedades como 'Solo 8' y 'Maradol', presenta altos contenidos de fibra dietética (32–38%), proteína cruda (hasta 27%), y una notable riqueza en vitamina E (65.04–100.62 mg/100 g), así como en minerales como potasio, fósforo y sodio. Además, concentra polifenoles, flavonoides y taninos con elevada actividad antioxidante.

Por su parte, las semillas destacan por su contenido de proteína (hasta 25.6%), fibra dietética (31.7–37.8%) y grasas saludables (~25%), donde predomina el ácido oleico (73–74%). También contienen vitaminas (β -caroteno, riboflavina, niacina, ácido ascórbico) y minerales como hierro y zinc, con presencia de compuestos bioactivos como taninos y bencil isotiocianato. Las hojas, a su vez, presentan una notable concentración de minerales (Ca, K, Mg, Fe, Zn) y vitaminas como C, E y del complejo B, junto con una amplia gama de compuestos fitoquímicos (alcaloides, flavonoides, saponinas y enzimas proteolíticas) que refuerzan su potencial funcional.

La comparación entre subproductos permite afirmar que cada uno presenta ventajas particulares, por ejemplo, la cáscara como fuente de antioxidantes liposolubles y fibra, las semillas por sus lípidos funcionales y fitoquímicos, y las hojas por su riqueza en micronutrientes y compuestos bioactivos de interés terapéutico. Estos hallazgos respaldan la valorización de estos subproductos en el diseño de alimentos funcionales, y además evidencian su importancia en estrategias de aprovechamiento integral de residuos agroindustriales, contribuyendo a la sostenibilidad y a la innovación en la industria alimentaria.

Por su parte, el análisis de la literatura científica también permite concluir que los subproductos de la papaya (*Carica papaya*), particularmente las cáscaras, semillas y hojas, poseen un amplio espectro de propiedades bioactivas y funcionales, que les otorgan un alto potencial como ingredientes en la formulación de alimentos funcionales, entre los que están las galletas y panes, elaborados con harina de cáscara, pulpa y semillas de papaya, lo que agrega fibra y antioxidantes a los productos terminados; bebidas y jugos fermentados que utilizan subproductos como jugo fermentado de papaya, combinado con leche o puré, que mejora su capacidad antioxidante y añade beneficios antihipercolesterolémicos y antivirales; mermeladas y dulces cristalizado, producción artesanal que aprovecha las cáscaras de papaya, promoviendo sostenibilidad y enriqueciendo alimentos con compuestos bioactivos; harinas funcionales obtenidas de la cáscara y las semillas, estas pueden fortificar productos panificados, como galletas y cereales, incrementando el contenido de fibra y antioxidantes, así como suplementos dietéticos basados en extractos antioxidantes de hojas, cáscaras y semillas, con potencial para mejorar la salud digestiva e inmunológica

En primer lugar, se ha demostrado de forma consistente que estos subproductos presentan una alta capacidad antioxidante, atribuida principalmente a la presencia de polifenoles, flavonoides, taninos, carotenoides y vitamina C. Por ejemplo, la cáscara de papaya contiene concentraciones destacables de compuestos fenólicos como el ácido ferúlico, ácido caféico y quercetina, así como una elevada actividad de eliminación de radicales libres (DPPH), lo cual permite inferir un rol protector frente al daño oxidativo celular. Las hojas, por su parte, muestran una actividad antioxidante sobresaliente gracias a su contenido de ácido ascórbico y flavonoides, superior incluso al de otras hojas comestibles locales.

Asimismo, los extractos de semillas y hojas de papaya exhiben actividad antiinflamatoria y analgésica, observada en modelos animales, lo cual ha sido vinculado a la acción de compuestos como el bencil isotiocianato, presente en alta proporción en las semillas, y alcaloides como la

carpaina, abundante en las hojas. Estas propiedades sugieren un posible efecto modulador en procesos inflamatorios crónicos, con implicaciones relevantes para la salud metabólica.

En relación con la salud digestiva y otras funciones fisiológicas, se ha documentado actividad antimicrobiana y antihelmíntica del látex y extractos de semillas y hojas, que podría contribuir a la regulación del microbioma intestinal y la eliminación de parásitos. También se ha identificado un efecto cicatrizante y antihiper glucémico, así como una incipiente actividad inmunomoduladora en extractos foliares, todos ellos aspectos que refuerzan la utilidad funcional de estos subproductos.

De acuerdo con lo anterior, las evidencias disponibles permiten concluir que los subproductos de la papaya concentran una diversidad de compuestos bioactivos con efectos beneficiosos para la salud humana, respaldando su consideración como fuentes viables de ingredientes funcionales. Su incorporación en matrices alimentarias no solo permitiría aprovechar el valor nutricional y terapéutico de dichos compuestos, sino que también contribuiría a una gestión más sostenible de los residuos agroindustriales asociados a la papaya.

También es importante destacar que la revisión bibliográfica permitió identificar diversas estrategias de incorporación de subproductos de la papaya (*Carica papaya*), particularmente cáscaras, semillas y hojas, en la formulación de alimentos funcionales, con resultados prometedores en términos de estabilidad, aceptación sensorial y beneficios para la salud. En cuanto al aprovechamiento tecnológico, múltiples estudios han documentado la adición de harinas de semillas o extractos de cáscaras en productos como galletas, barras energéticas, panes, jugos fermentados, suplementos en polvo y bebidas funcionales, utilizando procesos como secado, molienda, fermentación ácido-láctica y microencapsulación para conservar las propiedades bioactivas de los compuestos.

Respecto a la aceptación sensorial, diversos estudios han mostrado que el uso directo de subproductos de papaya en estado crudo —especialmente cáscaras y semillas— puede generar ciertas barreras en cuanto a textura, color o sabor, elementos que suelen ser determinantes para el consumidor final. Romo et al. (2020) advierten que estos materiales, en su forma natural, no presentan características sensoriales agradables, por lo que tienden a ser descartados. Sin embargo, el procesamiento tecnológico ha abierto alternativas viables para mejorar estas propiedades sin comprometer los beneficios nutricionales o funcionales. Por ejemplo, la transformación de las cáscaras en polvos mediante liofilización o secado por aire caliente no solo permite conservar compuestos bioactivos, sino que también modifica atributos visuales como el color, generando tonalidades anaranjadas más limpias y homogéneas, lo cual es apreciado en matrices alimenticias que buscan prescindir de colorantes artificiales. Además, la variación en el tamaño de partícula permite adaptar el ingrediente a funciones específicas: mientras los polvos gruesos pueden actuar como espesantes, los más finos resultan útiles como sustitutos o enriquecedores nutricionales, sin afectar negativamente la percepción del producto.

Por otra parte, Ayala et al. (2024) destacan la fermentación ácido-láctica como una estrategia prometedora para preservar o incluso realzar las propiedades sensoriales de preparaciones a base de papaya. En una de sus investigaciones, se evaluó un smoothie verde con extracto fermentado de papaya, donde, si bien no se incrementó el contenido antioxidante, sí se logró mantener la estabilidad sensorial a lo largo del almacenamiento. Este hallazgo sugiere que el procesamiento no solo impacta a nivel físico-químico, sino que también puede favorecer la percepción organoléptica de productos complejos. Además, en otros desarrollos como mermeladas, gomitas y caramelos enriquecidos con polvo de cáscara de papaya, los análisis sensoriales han reportado resultados aceptables, siempre que las proporciones de inclusión sean cuidadosamente ajustadas. Aunque aún hay vacíos respecto al efecto sensorial de procesos como la fermentación

en matrices horneadas —galletas, panes u otros—, los hallazgos existentes permiten afirmar que el potencial de estos subproductos es amplio, y que su aceptación depende en gran parte del tipo de tratamiento previo que se les aplique.

En cuanto a la estabilidad funcional y físico-química, los subproductos de papaya han demostrado conservar buena parte de sus compuestos activos tras ser procesados. El aceite de semillas conserva altos niveles de ácido oleico tras prensado en frío, y los extractos fenólicos de hojas muestran actividad antioxidante y antiinflamatoria incluso tras tratamientos térmicos moderados. Además, algunos estudios resaltan que la fermentación controlada potencia la biodisponibilidad de polifenoles y flavonoides.

En términos de beneficios para la salud, los productos elaborados con estos subproductos han mostrado efectos positivos en modelos animales y estudios piloto con humanos, relacionados con el control glicémico, mejora de la digestión, regulación del tránsito intestinal y modulación de la microbiota, lo que confirma su potencial como ingredientes funcionales.

Finalmente, los subproductos de papaya representan una fuente valiosa de compuestos funcionales que, bajo procesos tecnológicos adecuados, pueden ser integrados de forma viable en alimentos innovadores, sostenibles y nutricionalmente enriquecidos. Su uso contribuye no solo al aprovechamiento integral de la fruta, sino también a la generación de valor agregado y a la sostenibilidad en la industria alimentaria.

Por ende, los subproductos de la papaya (cáscaras, semillas y hojas) tienen un alto potencial para ser utilizados en la elaboración de alimentos funcionales, gracias a su riqueza en nutrientes esenciales como fibra, vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes, además, presentan propiedades bioactivas relevantes, como efectos antiinflamatorios, antimicrobianos y digestivos, que pueden beneficiar la salud. La literatura también muestra que estos subproductos pueden ser incorporados con éxito en distintos productos alimenticios, manteniendo su funcionalidad y siendo

bien aceptados sensorialmente, por tanto, aprovechar estos materiales no solo contribuye a una alimentación más saludable, sino que también favorece la sostenibilidad y la innovación en la industria alimentaria.

Antes de cerrar con las conclusiones generales de esta revisión, resulta pertinente reconocer ciertos elementos que podrían influir en la consistencia, interpretación y aplicabilidad de los resultados aquí expuestos. Aunque los datos presentados sugieren un alto potencial nutricional y funcional en los subproductos de Carica papaya, esta información no está exenta de limitaciones metodológicas o contextuales. Es necesario advertir que muchas de las investigaciones consultadas presentan resultados favorables, pero no siempre incluyen contrastes, ni discuten la posible variabilidad asociada a los métodos de extracción, las condiciones agroecológicas, la madurez del fruto o incluso las diferencias entre cultivares específicos.

De hecho, los perfiles nutricionales y fitoquímicos pueden variar sustancialmente entre variedades como ‘Solo 8’, ‘Red Lady’ o ‘Maradol’, no solo en cuanto a concentración de micronutrientes, sino también en la presencia y proporción de compuestos bioactivos. Por ejemplo, mientras que la variedad ‘Red Lady’ se destaca por sus altos niveles de potasio y vitamina A, estudios sobre la cáscara de ‘Solo 8’ reportan concentraciones más elevadas de polifenoles, y otros trabajos con la variedad ‘Maradol’ revelan una mayor riqueza en flavonoides respecto a la pulpa (Kumar et al., 2024; Martial et al., 2017; Ayala-Zavala et al., 2024). Asimismo, factores como el tipo de procesamiento —lío-filización, secado por aire caliente, fermentación ácido-láctica, entre otros— afectan de manera significativa las propiedades físico-químicas de los subproductos, alterando su funcionalidad y aceptabilidad sensorial (Romo et al., 2020; Ayala et al., 2024). Incluso entre estudios que emplean técnicas similares, las condiciones específicas de laboratorio o las unidades de medida empleadas dificultan las comparaciones directas, lo que limita la posibilidad de extrapolar con certeza los datos a escalas industriales o a otras zonas geográficas. En

consecuencia, aunque el potencial de estos subproductos es evidente, resulta fundamental asumir una postura crítica ante los resultados y considerar estas variables como parte del análisis técnico, especialmente si se pretende avanzar hacia propuestas de formulación realistas en la industria alimentaria.

1.5 Propuestas de aplicación industrial en Colombia a partir de subproductos de papaya

El potencial de los subproductos de *Carica papaya* para la industria alimentaria colombiana es notable y aún poco aprovechado. A partir de su composición nutricional y funcional, se pueden trazar líneas de desarrollo para diversas aplicaciones industriales, no solo con impacto económico sino también ambiental y social. La semilla, rica en proteínas, lípidos insaturados y antioxidantes, podría transformarse en harinas funcionales utilizadas en productos como galletas saludables, barras energéticas y panes con alto contenido en fibra. Por su parte, la cáscara —con una carga elevada de polifenoles, flavonoides y fibra dietaria— resulta ideal para ser incorporada en snacks horneados o productos de panadería artesanal que respondan a la creciente demanda de alimentos con beneficios digestivos.

En el ámbito de las bebidas, las hojas de papaya representan una fuente promisoría de compuestos bioactivos con potencial antioxidante, antihiper glucémico y digestivo, lo cual abre la posibilidad de desarrollar tés herbales o bebidas fermentadas que puedan competir en el mercado nacional de productos funcionales no lácteos. Además, los extractos de hojas y semillas podrían ser procesados en suplementos en polvo o cápsulas con propiedades antioxidantes, antimicrobianas o digestivas, alineándose con la tendencia del consumidor hacia opciones naturales y de origen vegetal. Por otro lado, los aceites derivados de la semilla de papaya, por su riqueza en ácidos grasos

como el oleico, tienen viabilidad en la industria cosmética y farmacéutica, tanto en productos hidratantes como en formulaciones terapéuticas con acción antiinflamatoria. La cáscara, por sus propiedades antioxidantes, también puede ser utilizada en productos para el cuidado de la piel.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los residuos no utilizados de papaya pueden ser aprovechados en procesos de compostaje o como materia prima para la producción de fertilizantes orgánicos, fomentando modelos de economía circular en el agro colombiano. Incluso, en el mediano plazo, existe margen para investigar la producción de bioplásticos biodegradables a partir de cáscaras y semillas, lo cual significaría un avance en la reducción del uso de plásticos derivados del petróleo.

Colombia, siendo uno de los principales productores de papaya en América Latina, tiene una ventaja competitiva significativa para implementar estas innovaciones. Departamentos como Valle del Cauca, Córdoba y Magdalena concentran una gran parte de la producción nacional y podrían liderar estrategias de valorización mediante proyectos piloto con enfoque territorial. El aprovechamiento de estos subproductos no solo permitiría reducir el volumen de residuos agroindustriales, sino también generar nuevas fuentes de ingreso para pequeños productores y agroindustriales locales. A esto se suma el contexto favorable de los mercados emergentes: la demanda por alimentos funcionales, suplementos dietéticos y productos con enfoque saludable ha crecido notablemente en Colombia, lo que representa una oportunidad clara para introducir líneas de productos innovadores basados en los subproductos de la papaya.

A modo de propuesta concreta, se podría desarrollar una línea de harinas funcionales elaboradas a partir de cáscaras y semillas, con un perfil nutricional orientado al enriquecimiento de cereales, galletas o panes artesanales. Además, bebidas fermentadas elaboradas con jugo de hojas de papaya, combinadas con frutas locales como guayaba o maracuyá, tendrían un gran potencial comercial como productos digestivos y antioxidantes. Estas iniciativas no solo representarían una

innovación en el portafolio de la industria nacional, sino que también contribuirían activamente a la transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles y circulares.

1.6 Líneas de investigación futura

Una posible línea de investigación complementaria, derivada de las evidencias revisadas, apunta a la necesidad de evaluar con mayor detalle la aceptabilidad sensorial de los productos desarrollados a partir de subproductos de Carica papaya, especialmente en contextos latinoamericanos donde las preferencias del consumidor pueden diferir de aquellas registradas en otros países. Sería pertinente analizar cómo el sabor, la textura o el color resultan percibidos tras procesos como la fermentación o el secado, y cómo esas variables afectan la aceptación final del producto. Además, conviene explorar la estabilidad de los compuestos bioactivos una vez integrados en distintas matrices alimenticias, como harinas, bebidas o cápsulas, ya que esto incide directamente en su funcionalidad real al momento del consumo. Más allá de los aspectos técnicos, se sugiere abrir líneas que contemplen el impacto económico y ambiental de su incorporación industrial en Colombia, tanto a pequeña como a gran escala, con el fin de promover modelos agroindustriales más sostenibles, capaces de valorizar residuos y generar oportunidades para productores locales bajo esquemas de economía circular.

6. Conclusiones

El aprovechamiento integral de los subproductos de la papaya, lejos de ser una alternativa menor, se perfila como una vía prometedora hacia una nutrición más consciente y una industria alimentaria con mayor responsabilidad ambiental. Las cáscaras, semillas y hojas de la Carica papaya, a menudo descartadas como residuos, en realidad concentran una variedad de nutrientes esenciales y compuestos bioactivos con efectos benéficos comprobados. Su incorporación en matrices alimentarias no solo mejora el perfil nutricional de los productos finales, sino que también contribuye de manera directa a reducir el desperdicio agroindustrial, que es una problemática creciente en contextos de producción intensiva.

Cada una de estas partes de la fruta, aunque provenientes de un mismo origen, cumple un papel funcional distinto. Las cáscaras destacan por su fibra y capacidad antioxidante, las semillas por sus lípidos saludables y actividad antimicrobiana, mientras que las hojas poseen un alto contenido de carpaina, con efectos terapéuticos sugerentes. Este potencial ha sido aprovechado en diversos prototipos alimentarios —desde panificados hasta suplementos fermentados— en los cuales, mediante procesos como la fermentación ácido-láctica, se mejora la disponibilidad de nutrientes y se potencian beneficios metabólicos, incluyendo propiedades antivirales y efectos sobre el colesterol.

Todo esto apunta a una conclusión difícil de ignorar, a saber, integrar estos subproductos en la elaboración de alimentos funcionales no solo es viable, sino necesario. Es una estrategia que cruza sostenibilidad, salud y tecnología alimentaria, permitiendo innovaciones que transforman residuos en valor. La industria, si apuesta de manera más decidida por estos enfoques, podría avanzar hacia modelos verdaderamente circulares e inclusivos, donde nada se pierde y todo se transforma.

Referencias

- Agencia UNAL. (2022). *En cáscara de papaya buscan antioxidantes con potencial para la industria alimenticia*. Ciencia y Tecnología.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Alara, J. A. (2022). Carica papaya: comprehensive overview of the nutritional values, phytochemicals and pharmacological activities. In *Advances in Traditional Medicine* (Vol. 22, Issue 1, pp. 17–47). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00481-3>
- Anwar, M., Rasul, M. G., & Ashwath, N. (2018). Production optimization and quality assessment of papaya (*Carica papaya*) biodiesel with response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 156, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.004>
- Asohofrucol. (2022). *Proyecto: Plan nacional de Fomento Hortifrutícola 2012-2022* (M. A. Suárez, Ed.). Legis. <https://doi.org/10.000>
- Ayala-Zavala, J., Castillo-Romero, T. de J., Méndez-Romero, J. I., Santiago-López, L., Hernández-Mendoza, A., González-Córdova, A. F., & Vargas-Ortiz, M. (2024). Fermentación ácido-láctica en papaya (*Carica papaya* L.): impacto en compuestos antioxidantes, salud humana y valorización de subproductos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 27. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2024.662>
- Barros, M. V., Salvador, R., de Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2020). Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 131). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109958>

- Barzee, T. J., Yothers, C., Edalati, A., Rude, K., Chio, A., El Mashad, H. M., Franz, A., & Zhang, R. (2022). Pilot microalgae cultivation using food waste digestate with minimal resource inputs. *Bioresource Technology Reports*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101200>
- Bolom, S., Ayvar, P., & Gamboa, W. (2017). Aprovechamiento de sobrantes de papaya en subproductos alimentarios. *Lacandonia*, 11(1), 75–80.
- Cisneros-Saguilán, P., Merino-Ávila, I. G., Valenzuela-Lagarda, J. L., Antonio-Méndez, I., Ochoa-Jiménez, L. C., & Peláez-Estrada, U. V. (2023). Tipología de productores y diferenciación de los agroecosistemas con papaya (*Carica papaya* L.) en Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), 1–16. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4643>
- DNP. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*. www.dnp.gov.co
- Donner, M., & de Vries, H. (2021). How to innovate business models for a circular bio-economy? *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 1932–1947. <https://doi.org/10.1002/bse.2725>
- Eng Khoo, H., Kwang Ang, Y., Sia, W. C., & Seng Yim, H. (2012). Antioxidant potential of *Carica papaya* peel and seed. In *Focusing on Modern Food Industry* (Vol. 1, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/284698754>
- Esposito, B., Sessa, M. R., Sica, D., & Malandrino, O. (2020). Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/SU12187401>
- Estrada, C. (2022). *Colombia, líder en producción de frutas exóticas con la gulupa como la más exportada*. Agronegocios.
- González, D. (2013). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal* [Ingeniería de Alimentos, Corporación Universitaria Lasallista].

https://www.academia.edu/27966368/Aprovechamiento_residuos_agroindustriales_producci%C3%B3n_alimentos_funcionales

Hoa, D. T., & Van, T. (2017). Extraction and Quantification of Carpaine from Carica papaya Leaves of Vietnam. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(5), 2394–2397. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.5.16>

Hueso, J., Salinas, I., & Cuevas, J. (2015). *El cultivo de la papaya*. <https://www.cajamar.es/storage/documents/009-papaya-1441794549-6f9d7.pdf>

Illescas, M. (2022). *Evaluación del potencial nutracéutico y antibacteriano del extracto de semillas de papaya andina (Vasconcella pubescens A. DC.) frente a Salmonella enteritidis y escherichia coli*. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2672/TL-Illescas%20M-Ext.pdf?sequence=5>

Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., & Rojas González, A. F. (2022). Prospects for the fruit byproducts recovery based on their physical characteristics. *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016

Kansiime, M. K., Rwomushana, I., Mugambi, I., Makale, F., Lamontagne-Godwin, J., Chacha, D., Kibwage, P., Oluyali, J., & Day, R. (2023). Crop losses and economic impact associated with papaya mealybug (*Paracoccus marginatus*) infestation in Kenya. *International Journal of Pest Management*, 69(2), 150–163. <https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1861363>

Khor, B. K. K., Chear, N. J. Y., Azizi, J., & Khaw, K. Y. (2021). Chemical composition, antioxidant and cytoprotective potentials of carica papaya leaf extracts: A comparison of supercritical fluid and conventional extraction methods. *Molecules*, 26(5). <https://doi.org/10.3390/molecules26051489>

- Kokila, T., Ramesh, P. S., & Geetha, D. (2016). Biosynthesis of AgNPs using *Carica Papaya* peel extract and evaluation of its antioxidant and antimicrobial activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.021>
- Krishna, K. L., Paridhavi, M., & Patel, J. (2008). Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of Papaya (*Carica papaya* Linn.). *Natural Product Radiance*, 7(4), 364–373. [https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/5695/1/NPR%207\(4\)%20364-373.pdf](https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/5695/1/NPR%207(4)%20364-373.pdf)
- Kumar, S. S., V, G. T., K, K., & John, M. (2024). Antioxidant potential and mineral elemental profiling of young and mature fruit and leaf of *Carica papaya* L. cultivar “Red Lady.” *Journal of Trace Elements and Minerals*, 9, 100166. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100166>
- Mahrous, N. S., & Noseer, E. A. (2023). Ameliorative effects of virgin olive oil, propolis, and zinc chloride on lead acetate-induced genetic variation in mice using 16S rRNA sequence. *SVU-International Journal of Veterinary Sciences*, 6(3), 48–57. <https://doi.org/10.21608/svu.2023.207008.1269>
- Martial-Didier, A. K., Hubert, K. K., Jean Parfait, K. E., & Kablan, T. (2017). Phytochemical Properties and Proximate Composition of Papaya (*Carica papaya* L. var solo 8) Peels. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(6), 676–680. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i6.676-680.1154>
- Mejía, L., & Morales, F. (2016). *Estructura de la cadena frutícola en Cundinamarca, Bogotá* [Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/134877a4-713f-4793-862b-434f4face1f7/content>

- Mendes, C., Patto, C., Mesquita, J., Rezende, E., & Mendes, M. (2014). Chemical characterization of the flour of peel and seed from two papaya cultivars. *Food Science and Technology*, 34(2), 353–357. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0048>
- Minambiente. (2019). Resolución 2184 de 2019. In *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2184-de-2019.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). *Protocolo Cadena de la Papaya*. <http://surl.li/gsedca>
- Mosquera, M., Bermúdez, J., & Serna, C. (2023). *Evaluación de la viabilidad para la producción y comercialización de tisanas en Colombia elaboradas a partir de cáscaras de frutas (naranja, limón) y plantas medicinales originarias del pacífico colombiano* [Unilasallista Corporación Universitaria]. <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/3d1916c2-f492-4081-8935-a2a42bdea10f/content>
- Murcia, J. D. (2023). *Colombia está dentro del podio de los mayores productores de papaya en la región*. Agronegocios.
- Navarro, A., Rojas, E., Lazcano, M., & Vera, O. (2016). Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista de Ciencias de La Salud Junio*, 3(7), 48–56. www.ecorfan.org/bolivia
- Nieto, J. E. (2017). *Desarrollo de una metodología para la producción de concentrados de fibra dietaria de pulpa y cáscara de papaya (Carica papaya L.), con propiedades fisicoquímicas y funcionales optimizadas para aplicaciones en la industria de alimentos*. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6135_NietoCalvache

- Nyakundi, B. B., Wall, M. M., & Yang, J. (2024). Supplementation of papaya leaf juice has beneficial effects on glucose homeostasis in high fat/high sugar-induced obese and prediabetic adult mice. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04320-1>
- Parniakov, O., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Grimi, N., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy. *Food Research International*, 77, 711–717. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.031>
- Paternina, A. K. (2020). *Propiedades químicas de la semilla y el aceite de papaya (Carica papaya linn) y su incidencia en el medio ambiente*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/2080f0b0-5b19-49a2-9a30-8b226be4a225/content>
- PTP. (2013). *Plan de Negocios de Papaya*. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=6a9eec32-6995-4857-88e4-8b2594913f46>
- Rojas, A. (2023). *Caracterización física y química de residuos de frutas: cáscaras y semillas* (Primera). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84695/9789585053380.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Romo, K. F., Pérez, L. E., Ramírez, R. E., & Días, G. C. (2020). Polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de papaya: producción y caracterización. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 692–697.
- Upra. (2023). *Boletín de abastecimiento de productos agropecuarios y seguridad alimentaria*. https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/20240216_BolAbastecimiento.pdf

- Vargas, M. de L., Figueroa, H., Tamayo, J. A., Toledo, V. M., & Moo, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo Sum*, 26(2), 1–11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Velasco, V. A. (2020). *Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (Carica papaya L.) y guayaba (Psidium guajava) como colorante natural en salchichas Frankfurt* [Maestría en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78311/1113619347.2020.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vinha, A. F., Costa, A. S. G., Espírito Santo, L., Ferreira, D. M., Sousa, C., Pinto, E., Almeida, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2024). High-Value Compounds in Papaya By-Products (Carica papaya L. var. Formosa and Aliança): Potential Sustainable Use and Exploitation. *Plants*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/plants13071009>