

Matriz de tecnologías y productos obtenidos a partir de *Annona muricata* L. (guanábana) con fines industriales

Matrix of technologies and products derived from *Annona muricata* L. (soursop) for industrial purposes.

Jeyson Jair Tanguila Andy¹ , Fernando Daniel Chicaiza Shiguango¹ , Amaury Pérez Martínez¹ 

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2626ep03-1230> 

Resumen

La guanábana (*Annona muricata* L.) es una fruta tropical de interés agroindustrial por su valor nutricional y contenido de compuestos bioactivos. Su aprovechamiento se concentra en la comercialización en fresco, generando residuos como semillas, cáscaras y hojas que pueden utilizarse para desarrollar productos. El objetivo de este trabajo fue elaborar una matriz de tecnologías y productos obtenidos a partir de la guanábana con fines industriales, considerando materias primas, operaciones unitarias, condiciones de procesamiento, niveles de madurez tecnológica (TRL) y productos resultantes. La información se recopiló mediante una aplicación parcial de la metodología PRISMA, utilizando publicaciones disponibles en *Scopus* y *Web of Science*. Los resultados evidenciaron que la mayoría de las tecnologías identificadas se encuentran en los niveles TRL 3 y 4, correspondientes a etapas de desarrollo y validación, sin alcanzar una industrialización generalizada. La matriz permitió identificar alternativas para aprovechar partes de la planta, como fruto, pulpa, hojas, inflorescencias, cáscaras y semillas, incluyendo coproductos y residuos. Entre las operaciones unitarias se encuentran el lavado, despulpado, deshidratación, molienda, filtración, y extracción. Estas permiten obtener productos de valor agregado, como infusiones funcionales, almidones, extractos fitoquímicos, nanopartículas y nanofibras de celulosa. La filtración por cartuchos y sistemas de concentración presentaron una frecuencia operacional del 25%. Finalmente, la matriz permite priorizar rutas tecnológicas para el aprovechamiento integral de la guanábana, considerando operaciones unitarias, condiciones de procesamiento, productos obtenidos y niveles de madurez tecnológica.

Palabras clave Abstract

desarrollo agroindustrial; rutas tecnológicas; materias primas; nivel de madurez de la tecnología

Soursop (*Annona muricata* L.) is a tropical fruit of agro-industrial interest due to its nutritional value and bioactive compound content. Its use is concentrated on the fresh market, generating waste such as seeds, peels, and leaves that can be used to develop products. The objective of this work was to develop a matrix of technologies and products obtained from soursop for industrial purposes, considering raw materials, unit operations, processing conditions, technology readiness levels (TRLs), and resulting products. The information was compiled through a partial application of the PRISMA methodology, using publications available in *Scopus* and *Web of Science*. The results showed that most of the identified technologies are at TRL levels 3 and 4, corresponding to stages of development and validation, and have not yet reached widespread industrialization. The matrix allowed for the identification of alternatives for utilizing parts of the plant, such as fruit, pulp, leaves, inflorescences, peels, and seeds, including co-products and waste. The unit operations include washing, pulping, dehydration, grinding, filtration, and extraction. These allow for the production of value-added products such as functional infusions, starches, phytochemical extracts, nanoparticles, and cellulose nanofibers. Cartridge filtration and concentration systems were used at an operational frequency of 25%. Finally, the matrix allows prioritizing technological routes for the comprehensive use of soursop, considering unit operations, processing conditions, products obtained and levels of technological maturity.

Keywords

agro-industrial development; technological pathways; raw materials; level of technological maturity

Direcciones Autor para la correspondencia Cómo citar

¹Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: jj.tanguilaa@uea.edu.ec, fd.chicaizas@uea.edu.ec, amperez@uea.edu.ec

Jeyson Jair Tanguila Andy. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: jj.tanguilaa@uea.edu.ec

TANGUILA ANDY, Jeyson Jair, CHICAIZA SHIGUANGO, Fernando Daniel and PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury 2026. **Matriz de tecnologías y productos obtenidos a partir de *Annona muricata* L. (guanábana) con fines industriales**. PrePrint UEA. Vol. AGI2626. p. ep03-1230. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2626ep03-1230>

Editores Académicos

Billy Daniel Coronel Espinoza

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal
Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA. 

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

La guanábana es una fruta que presenta una amplia distribución en zonas tropicales. Su cultivo tiene especial importancia en países de América como México, Venezuela, Brasil, Colombia, Costa Rica, Puerto Rico y Ecuador, así como diferentes regiones de África y Asia. Entre los princi-

pales países productores, México se registró una producción nacional de 20.050,14 toneladas en 2021, mientras que en Brasil alcanzó una producción aproximada de 30.000 toneladas en 2017 (Aguilar M et al. 2022). En Venezuela se registró una producción de 10.096 toneladas, de las cuales 5.649 toneladas fueron destinadas a la exportación, aunque posteriormente existe limitaciones en la disponibilidad de

estadísticas oficiales actualizadas. En Colombia se reporta una producción anual de aproximadamente 55.740 toneladas, destinada principalmente al consumo en fresco y a la elaboración de subproductos (Jiménez-Zurita et al. 2022). Por su parte, Ecuador produjo 5.239 toneladas en 2023 y exportó 121 toneladas, evidenciando su participación tanto en la producción como en el consumo internacional de esta fruta. En Puerto Rico registró 3.449 quintales de guanábana cosechada en 2022, equivalentes aproximadamente a 156,4 toneladas. Finalmente, Costa Rica registró exportaciones de 45,33 toneladas en 2018 (Cavalcante et al. 2021). Estas cifras evidencian la importancia productiva y comercial de la guanábana en diferentes países tropicales. El procesamiento de la guanábana genera diferentes fracciones que pueden ser aprovechadas como materias primas para obtener productos de mayor valor agregado (Santos et al. 2023).

La proporción de la pulpa presenta variaciones según las condiciones y la zona de producción, con rendimientos reportados entre 46,8% - 85,85%. Asimismo, durante la cadena productiva se generan frutos dañados o fuera de los estándares comerciales, que pueden representar entre 30% - 50%, mientras que las semillas constituyen aproximadamente entre 3% - 8,5% y las cáscaras entre 7% - 20%. Estas fracciones contienen compuestos de interés, entre ellos sustancias fenólicas y otros componentes bioactivos, por lo que su aprovechamiento puede contribuir al desarrollo de alternativas para la industria y otras aplicaciones agroindustriales (Santos et al. 2023). Estos valores son comparables con los reportados Afzaal et al. (2022), quienes señalaron aproximadamente 67% de pulpa, 20% de cascara y 8% de semillas, lo que evidencia que las proporciones de las diferentes fracciones de la guanábana pueden variar según las características del fruto y las condiciones de evaluación.

El aprovechamiento de la guanábana ha despertado un creciente interés debido a la posibilidad de utilizar integralmente sus diferentes fracciones. Durante las etapas de producción y comercialización se generan frutos que no cumplen con los estándares comerciales, además de semillas, cáscaras y otros residuos que pueden representar una fuente de materiales aprovechables. (García et al. 2024) Señalan que estas fracciones contienen compuestos fitoquímicos y otros componentes que pueden ser valorizados mediante diferentes alternativas tecnológica, contribuyendo simultáneamente a disminuir un impacto ambiental y genera nuevas oportunidades de aprovechamiento agroindustrial. En este sentido, la valorización de estos materiales permite ampliar las posibilidades de aprovechamiento de la fruta y generar alternativas tecnológicas orientadas al desarrollo.

Entre las principales alternativas de transformación estudiada se encuentran los procesos destinados a conservar y mejorar la estabilidad de la pulpa. La literatura reporta investigaciones sobre secado por aspersión, liofilización y otros métodos de deshidratación, los cuales permiten obtener productos estables y conservar características de interés de las frutas (Do et al. 2024). Asimismo, se han desarrollado investigaciones relacionadas con la extracción de compuestos bioactivos a partir de la pulpa y sus subproductos mediante tecnologías asistidas por ultrasonido (López-Mártir et al. 2024). Estas alternativas evidencian el potencial de la guanábana para la elaboración de ingredientes y productos

agroindustriales.

De manera complementaria las semillas representan una fracción con posibilidades de aprovechamiento debido a su contenido de aceite y otros componentes de interés. Se han estudiado diferentes métodos para la extracción del aceite y semillas de guanábana, incluidas técnicas con dióxido de carbono supercrítico (Mesquita et al. 2021). Por otra parte, las semillas también han sido consideradas como fuente alternativa de aceite y proteínas mediante el proceso de extracción y separación (López-Mártir et al. 2024).

A pesar de la diversidad de investigaciones existentes sobre el aprovechamiento de la guanábana, los estudios disponibles se han desarrollado principalmente de manera individual, abordando por separado la conservación de la pulpa, la extracción de compuesto bioactivos, el aprovechamiento de semillas, cáscaras, hojas y otros subproductos. Sin embargo, no existe una matriz integradora que permita organizar conjuntamente la materia prima, las tecnologías de transformación, los parámetros y condiciones de procesamiento y los niveles de madurez tecnológica (TRL). Esta falta de integración dificulta la comparación de las diferentes alternativas y limita la identificación de tecnologías con potencial de escalabilidad y aplicación industrial.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo elaborar una matriz de tecnologías y productos obtenidos a partir de guanábana con fines industriales, mediante la organización de las materias primas, las operaciones unitarias, las condiciones de procesamiento, los niveles de madurez tecnológica (TRL) y los productos resultantes. Esta investigación busca facilitar la identificación de alternativas de transformación, promover el aprovechamiento integral de las diferentes partes de la planta y orientar futuras aplicaciones agroindustriales con mayor valor agregado.

2. Metodología

Con el propósito de identificar, organizar y seleccionar la información científica relevante sobre las tecnologías de transformación y los productos obtenidos a partir de guanábana La recuperación de información de este trabajo se basó en la aplicación parcial de la metodología PRISMA (Page et al. 2021). En este análisis de investigación mediante el diagrama PRISMA se empleó para estructurar y documentar el proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de la literatura científica. Su aplicación fue parcial, ya que no se realizaron la evaluación del riesgo de sesgo ni la valoración de la calidad metodológica de los estudios seleccionados, debido al enfoque descriptivo y de sistematización tecnológica de la investigación. Los componentes implementados permitieron establecer una secuencia reproducible para la selección de evidencia pertinente y su posterior integración en la matriz de tecnologías y productos derivados de la guanábana (**Figura 1**).

La **Tabla 1** muestra los métodos utilizados para la verificación de la metodología PRISMA, abarcando los criterios de elegibilidad, fuentes de información, estrategias de búsqueda, procesos de selección de estudio, extracción de datos y la lista de datos organizada cronológicamente.

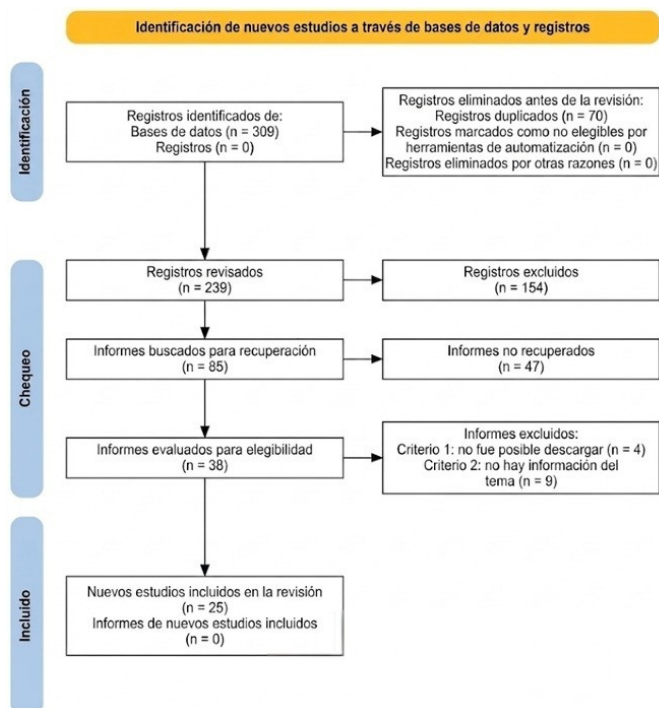


Figura 1 | Diagrama PRISMA. Modificado de (Page et al. 2021)

El uso del nivel de madurez tecnológica (TRL) en el presente estudio se justifica como una herramienta que permite identificar y diferenciar el grado de desarrollo de las tecnologías aplicadas al aprovechamiento agroindustrial de

la guanábana. Su aplicación facilita el análisis comparativo de las diferentes alternativas tecnológicas y permite reconocer aquellas que presentan un mayor potencial de implementación y escalamiento en el sector agroindustrial.

Con el propósito de analizar las tecnologías y productos obtenidos a partir de la guanábana, se desarrolló una aplicación parcial de literatura científica publicada durante los últimos seis años. La búsqueda se realizó en las bases de datos Scopus y *Web of Science*, utilizando palabras clave en inglés relacionadas con la industria alimentaria y farmacéutica.

Inicialmente, se recopilaban 309 documentos relacionados con el tema de estudio. En la fase de identificación se eliminaron 70 registros duplicados al unir los artículos buscados en el Scopus y *Web of Science*, obteniéndose 239 documentos para el proceso de filtración. De estos, 154 fueron excluidos por no cumplir con los criterios de selección, quedando 85 informes para recuperación. Durante esta etapa, 47 documentos no pudieron recuperarse, por lo que 38 artículos fueron sometidos a evaluación de elegibilidad mediante la revisión del texto disponible. Posteriormente, se excluyeron 13 estudios: 4 por no encontrarse disponibles para descargar y 9 por no presentar información pertinente al objetivo de investigación. Finalmente, 25 estudios cumplieron los criterios establecidos y fueron incluidos en la revisión, constituyendo la base documental para la identificación y sistematización de las materias primas, tecnologías, operaciones unitarias, condiciones de procesamiento, nivel de madurez tecnológica (TRL) y productos derivados de la guanábana.

Tabla 1 | Métodos para la verificación PRISMA. Adaptado de (Page et al. 2021)

Métodos	Descripción
Criterios de elegibilidad	Para la recuperación sistemática de literatura se aplicaron los criterios de elegibilidad, incluyendo artículos científicos que estén dentro de los 6 años de publicación, que esté relacionado al tema de estudio, ser artículos de revisión o investigación, artículos de acceso abierto o gratis, y excluyendo artículos que excedan los 6 años de publicación, ser artículos de paga, tesis, informes de caso, short de comunicación u otros, que no se encuentre información del tema, no estén relacionados al tema, por su título o resumen, o archivos duplicados.
Fuentes de información	La recopilación de información tomó inicio con una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Scopus y <i>Web of Science</i> . Con la búsqueda de palabras claves en inglés, se recopilaron inicialmente 309 documentos, ampliando así la recopilación de información referente a la información.
Estrategias de búsqueda	Para lograr una mayor optimización de la búsqueda bibliográfica, se emplearon palabras claves específicamente utilizando el idioma inglés, además se incluyeron el nombre científico de la especie, para lograr una recuperación de información más completa. Iniciando desde lo principal los términos en inglés como “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Food Industry”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Nutraceutical Industry”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Pharmaceutical Industry”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Protein Isolates”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Waste”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Natural Preservatives”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Development of food supplements”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Functional ingredient”, “ <i>Annona muricata</i> ” AND “Antimicrobial agents”.
Procesos de selección de estudio	Se aplicó criterios para filtrar todos los artículos, garantizando así que únicamente se consideren aquellos documentos que describan de manera específica las materias primas, tecnologías y productos obtenidos a base de la guanábana.
Procesos de extracción de datos	Para mantener la relevancia y pertenencia de los datos, la información fue recopilada minuciosamente por medio de publicaciones científicas. El análisis estuvo centrado en: las materias primas a partir de la guanábana desde hojas, cáscara, pulpa y semilla, las tecnologías aplicadas para la elaboración de nuevos productos, y los productos resultantes a partir de dichas materias primas. Todo esto se realizó para asegurar la uniformidad y relevancia de los datos en el estudio.
Lista de datos	Los datos obtenidos se ordenaron de manera cronológica, se agruparon de acuerdo con la cantidad y la disponibilidad de información.

Se seleccionaron artículos científicos de acceso abierto relacionados con las materias primas, tecnologías y productos derivados de la guanábana, excluyendo documentos fuera del periodo establecido, de pago, duplicado y otros tipos de publicaciones.

Posteriormente, para cada producto identificado se determinó el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL), el cual constituye un sistema utilizado para evaluar el grado de desarrollo de una tecnología y su potencial de escalado industrial (Catherine G. Manning 2023). información, se elaboró una matriz tecnológica utilizando Microsoft Excel, centrada en las tec-

nologías específicas asociadas a cada producto. Además, se identificaron las operaciones más recurrentes en los procesos tecnológicos. Al definir las matrices tecnológicas se desarrollaron las rutas tecnológicas para transformar las materias primas a través de las tecnologías en diferentes productos. Para la construcción de las rutas se utilizó la herramienta en línea Lucidchart (Vinocunga-Pillajo et al. 2025).

3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento de las publicaciones sobre las materias primas, tecnologías y productos a partir de la guanábana.

En la **Figura 2A** se presenta la evolución de las publicaciones científicas relacionadas con las tecnologías y productos derivados de la guanábana durante el período analizado. Los resultados evidencian un comportamiento dinámico en la producción científica, caracterizado por variaciones en el número de publicaciones entre los diferentes años. Se observa un incremento que alcanza su punto más alto en 2024, seguido de una disminución en los años posteriores. Esta tendencia sugiere un interés creciente de la comunidad científica por el aprovechamiento agroindustrial de la guanábana, impulsado por la búsqueda de tecnologías innovadoras y el desarrollo de productos con mayor valor agregado que contribuyan al uso integral y sostenible de esta materia prima.

La **Figura 2B** presenta la distribución geográfica de las publicaciones científicas relacionadas con las tecnologías y productos derivados de la guanábana. El mapa evidencia que Brasil concentra el mayor número de investigaciones, representado por la tonalidad más intensa. Asimismo, Perú registra una participación menor en la producción científica, reflejada mediante un color de menor intensidad. En contraste, la mayor parte de los países aparecen en color gris, lo que indica una escasa o nula presencia de publicaciones dentro del período analizado. En conjunto, estos resultados muestran que la investigación sobre el aprovechamiento tecnológico y el desarrollo de productos derivados de la guanábana se encuentra concentrada en un número limitado de países, evidenciando oportunidades para ampliar la producción científica en otras regiones.

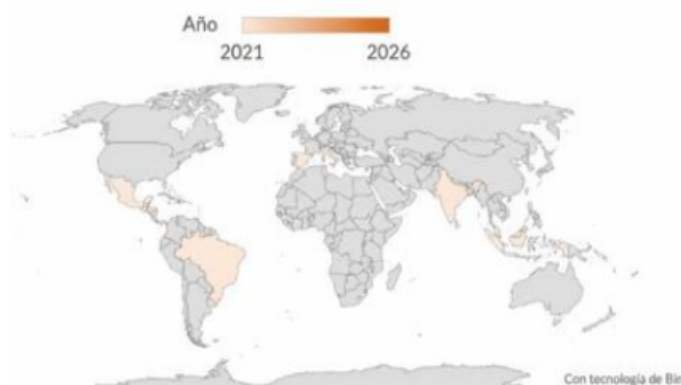
El análisis de las tendencias de búsqueda (**Figura 2A**), resalta una diferencia significativa del interés por los términos estudiados. El término en inglés muestra un amplio crecimiento en el año 2024 y seguido de una disminución en los años posteriores. Por su parte la **Figura 2B** evidencia que las investigaciones en inglés se centran en países asiáticos y de América siendo pocos los países europeos, en donde el cultivo tiene más relevancia socioeconómica.

El análisis de las búsquedas por países evidencia una distribución geográfica diferenciada de las investigaciones relacionadas con las tecnologías de transformación y los productos derivados de la guanábana. Se observa una mayor concentración de estudios en países de Asia, América y Europa, destacándose aquellos territorios con mayor producción científica sobre el aprovechamiento y transformación de la guanábana, en cuanto al idioma de publicación, todos los

artículos seleccionados se encuentran redactados en inglés, lo que refleja su utilización como principal medio de difusión de la literatura científica analizada. En conjunto, esta distribución evidencia que el desarrollo de investigaciones sobre la guanábana presenta una participación internacional, aunque con una concentración más marcada en determinados países y regiones.



(A)



(B)

Figura 2 | Panorama mundial de las investigaciones relacionadas con las tecnologías y productos derivados de la guanábana. (A) Comportamiento anual de la producción científica vinculada con las tecnologías y productos derivados de la guanábana durante el período de estudio. (B) Distribución geográfica de la producción científica de acuerdo con el número de publicaciones por país.

3.2. Identificación de materias primas, tecnologías y productos obtenidos a partir de la guanábana.

La **Tabla 2** presenta una descripción comparativa de diferentes productos obtenidos a partir de la guanábana, con la finalidad de transformar la materia prima y sus residuos en productos de valor agregado. Se incluye materias primas como guanábana madura, Extra-madura, pulpas, semillas, hojas, tallos, inflorescencia, cáscaras y pedúnculos que se transforman en productos terminados como alimenticios, funcionales, químicos e industriales. Cada proceso es detallado por etapas específicas, acompañadas de parámetros operativos como tiempo, temperatura, velocidad de agitación y pH, como también la madurez tecnológica (TRL) y

los equipos y maquinaria especializada utilizada. Asimismo, se incorpora el nivel de madurez tecnológica (TRL) y el equipamiento especializado requerido para la transformación, proporcionando una base técnica para la escalabilidad industrial de los derivados de esta especie.

En Vietnam, Do et al. (2024) se desarrolló un té funcional deshidratado a partir de la pulpa y cáscara de la guanábana madura seleccionada, se le aplicó los procesos de cosecha de la fruta madura (SST >12 °Brix), posteriormente se lavó con agua clorada a 100 ppm durante 5 minutos, deshidratación por aire forzado a 60 °C por 12 horas hasta alcanzar una humedad inferior al 10 %, molienda de martillos a 3 000 rpm y finalmente con el tamizado. Por otro lado, en México, (Ramírez-Balboa et al. 2021) obtuvieron almidón funcional nativo procesando la pulpa madura mediante los procesos de pelado realizando manualmente eliminando las semillas y corteza, despulpado (agua destilada en relación 1:2 (p/v)), homogeneización a 500 rpm por 15 minutos, tamizado paso sucesivo por mallas de 100 y 200 mesh, centrifugación asistida por ultrasonido (40 kHz, 200 W, 20 minutos), secado a 45 °C por 24 horas y posterior la molienda (reducción a polvo fino (<150 µm)). Mientras en el ámbito de las bebidas exóticas, en Mauritius, (Jaumbocus et al. 2024) formularon una infusión funcional embotellada utilizando frutos extra-maduros que fueron, lavados, despulpados con tamices de 0.8 mm, dilución en (1:3 v/v), adición de ingredientes (Estevia y ácido ascórbico), deshidratación a una temperatura de 60°C en un horno con circulación de aire forzado, extracción y finalizando con la pasteurización mediante un sistema HTST (High Temperature) a una temperatura de 85 °C por 15 segundos y envasados en forma aséptica.

En Brazil, Neglo et al. (2021) emplearon un enfoque de química verde para obtener extractos purificados de acetogeninas y polifenos utilizando las hojas de la guanábana, lo cual se aplicaron los procesos de secado, pulverización, adición de solventes eutécticos profundos (DES) de cloruro de colina y ácido cítrico aplicando una extracción térmica asistida de 55 °C por 45 minutos con una relación solido solvente de 1:20 g/mL y filtración al vacío usando papel filtro y bomba de vacío (presión de 0,6 bar). En una línea similar, en Brazil, Leal et al. (2022) optimizaron un aditivo alimentario antioxidante líquido, a partir de hojas secas, iniciando con el proceso de molienda, mezclado de etanol/agua (80:20 v/v) a 50 °C por 60 minutos, lixiviación, filtración, seguido de una concentración al vacío a 40 °C y finalizando con la estabilización (adición de 0,1 % de ácido cítrico).

En Vietnam, Hartati et al. (2024) utilizaron hojas de la guanábana, para la obtención de el extracto de hojas optimizado con alta actividad antioxidante, iniciando con los procesos de extracción a una temperatura de 62,5 °C, tiempo 34,2 minutos, prensado mecánico, filtración, centrifugación a 4000 rpm durante 15 minutos y evaporación mediante baño de agua.

A su vez en México, Aguilar-Villalva et al. (2021) compararon métodos convencionales con tecnologías emergentes logrando un extracto fitoquímico purificado antibacteriana utilizando las hojas de guanábana. Siguiendo los procesos de secado por convención forzada a 40 °C durante 16 horas, pulverización con una granulometría media de 300 µm,

mezclado con solvente utilizando metanol al 80 %, cavitación ultrasónica industrial en un reactor de flujo continuo a 1500 W y 20 kHz con un tiempo de resistencia de solo 8 minutos, filtración industrial (<10 µm) y mediante concentración. Mientras en el campo clínico, en Ghana, Neglo et al. (2021) evaluaron el efecto modulador de extractos crudos metanólicos de hojas de guanábana frente a bacterias patógenas formadas de biofilms *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA), utilizando diluciones seriadas desde 28 mg/mL y 256 µg /m en DMSO (Dimetilsulfóxido) al 20 %, inoculación bacteriana lo cual se preparó una suspensión de MRSA estandarizada al 0.5 de la escala de MacFarland (1.5x10⁸ UFC/mL), y finalizando con ensayos microbiológicos de tablero de ajedrez aplicando placas de 96 pocillos combinando concentración del extracto y antibióticos (oxacilina/vancomicina).

En México, Santos-Santos et al. (2026) aislaron fracciones de almidón y pectina enriquecidas con acetogeninas a partir de la pulpa, semilla y cáscara de la guanábana mediante procesos de extracción hidroalcohólica (etanol al 70 %, 40 °C por 2 horas), filtración (separación de fase sólida y líquida), adición de etanol absoluto, precipitación fraccionada a 4 °C, centrifugación y secado a -50 °C y vacío de 0.05 mbar por 24 horas. Asimismo, en México, Ruiz-López et al. (2025) un concentrado fenólico de alto poder antioxidante a partir de hojas y pulpa, siguiendo los procesos de molienda de biomasa con una velocidad de corte 4000 rpm, multiefecto al vacío (con temperaturas decrecientes de 75 °C, 62 °C y 48 °C) para resguardar termolábiles, filtración a presión y concentración térmica hasta la obtención de 65°Brix estables para conservación comercial. Como alternativa de conservación postcosecha, en Nigeria, Banjo et al. (2022) formularon un recubrimiento bioactivo botánico para extensión de vida útil, utilizando semillas, hojas y corteza de guanábana y *Hibiscus* que mezcla extractos etanólicos de guanábana con una dispersión de quitosano al 1.5 % y glicerol, aplicado mediante aspersión controlada con boquilla de 0.8 mm, aspersión controlada presión de aire de 2.0 bar, secado y almacenamiento permitiendo extender significativamente la vida útil de frutos de tomate almacenados a 12 °C.

En Brazil, Mesquita et al. (2021) desarrollaron un extracto lipofílico antioxidante a partir de semillas de guanábana. Siguiendo una serie de procesos como la congelación con inmersión en nitrógeno líquido (-196 °C) por 5 min, molienda ultracentrífuga, una extracción acelerada por solventes (ASE) con n-hexano a 105 °C y 1500 psi durante tres ciclos de 7 minutos, separación centrífuga de aclaramiento a 4000 rpm por 10 minutos a 20 °C y evaporación eliminando el hexano en vapor rotatorio a 45 °C y flujo de nitrógeno gaseoso. De igual forma, en México, López-Mártir et al. (2024) mencionan que utilizaron la semilla de guanábana produciendo un Aislado proteico funcionalizado de alta solubilidad. Mediante los procesos de desgrasado mediante Soxhlet con n-hexano, realizando una extracción alcalina a pH 9.5 asistida por cavitación de ultrasonido de alta intensidad (20 kHz, 600 W por 15 minutos), una precipitación isoeléctrica a pH 4.5, lavado con agua desionizada ajustada a pH 4.5 para purificar proteínas y liofilización, deshidratación primaria a -50 °C.

Tabla 2 | Materia primas, tecnología y productos a partir de la *guanábana*

Materia prima	Tecnología	Parámetros	Operaciones unitarias	TRL	Producto	Referencia
Parte de la guanábana	Clasificación					
Madura (Pulpa y Cáscara)	Métodos físicos / Térmicos	Manual, selección por madurez comercial (SST > 12°Brix) Agua clorada a 100 ppm, inmersión por 5 min Temperatura: 60 °C, Velocidad del aire: 1,5 m/s, Tiempo: 12 h y humedad final < 10% Velocidad: 3900 rpm, Tamaño de partícula aproximado: 1-2 mm Malla ASTM N° 20 y N° 40 para homogeneización de granulometría	Cosecha Lavado Deshidratación por aire forzado Molienda Tamizado	4	Té funcional deshidratado de guanábana	(Da et al. 2024)
Madura (Pulpa)	Extracción y Purificación	Manual, remoción de corteza externa y eliminación de semillas Mecánico con adición de agua destilada en relación 1:2 (p/v) Agitación continua a 500 rpm por 15 min a temperatura ambiente (25 °C) Paso sucesivo por mallas de 100 mesh y 200 mesh (75 µm) para retener fibra Asistida por Ultrasonido (40 kHz, 200 W) por 20 min; Centrifugación a 3500 rpm por 15 min Tres ciclos con agua destilada y etanol al 95 % para eliminar solubles En estufa a 45 °C durante 24 horas hasta humedad constante (< 12 %) Mortero mecánico o molino de aspas para reducción a polvo fino (< 150 µm)	Pelado Despulpado Homogeneización Tamizado mecánico Centrifugación asistida Lavado de almidón Secado Molienda	4	Almidón funcional nativo de guanábana	(Ramírez-Balboa et al. 2021)
Hojas	Métodos Químicos / Verdes	Liofilización o secado a la sombra (< 35 °C) por 48 h para preservar compuestos Molino de cuchillas a 5000 rpm, tamaño de partícula < 0,5 mm Solventes eutécticos profundos (DES): Cloruro de colina + Ácido cítrico (relación molar 1:1), 20 % agua Temperatura: 55 °C, Relación sólido-solvente: 1:20 g/mL, Tiempo: 45 min con agitación Uso de papel filtro Whatman N° 1 y bomba de vacío (presión de 0,6 bar) Resina macro porosa DAX-8 o diálisis para recuperar solutos bioactivos eliminando el DES Etanol al 70 % (v/v), relación 1:10 (p/v), maceración dinámica a 40 °C por 2 h Separación de fase sólida (rica en almidón) y líquida (rica en pectina y acetogeninas) Relación 1:2 (v/v) respecto al sobrenadante para inducir la precipitación de pectinas Reposo térmico a 4 °C durante 12 horas para maximizar la cristalización y rendimiento Velocidad: 4500 rpm, Tiempo: 20 min, temperatura: 4 °C para sedimentar los polímeros Liofilización a -50 °C y vacío de 0,05 mbar por 24 h para conservar acetogeninas asociadas	Secado de hojas Pulverización Adición de solventes Extracción térmica asistida Filtración al vacío Concentración Extracción hidroalcohólica Filtración Adición de etanol absoluto Precipitación fraccionada Centrifugación Secado	4	Extracto purificado de acetogeninas y polifenoles	(Oton et al. 2025)
Fruto (Pulpa, semilla, cáscara)	Extracción Avanzada	Reducción mecánica en molino criogénico de cuchillas a < 250 µm Adición de mezcla etanol/agua (80:20 v/v), relación 1:15 sólido/líquido Extracción por agitación magnetotérmica a 50 °C por 60 min (rendimiento fenólico optimizado) Filtros de celulosa plisada de 5 µm y posterior cartucho de carbón activado ligero Evaporación rotatoria al vacío a 40 °C, 120 rpm para eliminar solvente orgánico Adición de 0,1 % de ácido cítrico como sinergista y envasado en viales ámbar a 4 °C Inmersión en nitrógeno líquido (-196 °C) por 5 min para fragilizar la testa dura Molino ultracentrífuga con control de temperatura inferior a 0 °C, tamaño < 500 µm Solvente: n-Hexano, Temperatura: 105 °C, Presión: 1500 psi (10,3 MPa), 3 ciclos estáticos de 7 min Centrifugación de aclaramiento a 4000 rpm por 10 min a 20 °C Eliminación del hexano en evaporador rotatorio a 45 °C y flujo de nitrógeno gaseoso	Extracción Filtración Adición de etanol absoluto Precipitación fraccionada Centrifugación Secado Molienda Mezclado líquido-sólido Lixiviación Filtración por cartuchos Concentración Estabilización Congelación Molienda ultracentrífuga Extracción acelerada por solventes (ASE) Separación centrífuga Evaporación	3	Fracciones de almidón y pectina con acetogeninas	(Santos-Santos et al. 2026)
Hojas	Métodos Químicos / Verdes	Reducción mecánica en molino criogénico de cuchillas a < 250 µm Adición de mezcla etanol/agua (80:20 v/v), relación 1:15 sólido/líquido Extracción por agitación magnetotérmica a 50 °C por 60 min (rendimiento fenólico optimizado) Filtros de celulosa plisada de 5 µm y posterior cartucho de carbón activado ligero Evaporación rotatoria al vacío a 40 °C, 120 rpm para eliminar solvente orgánico Adición de 0,1 % de ácido cítrico como sinergista y envasado en viales ámbar a 4 °C Inmersión en nitrógeno líquido (-196 °C) por 5 min para fragilizar la testa dura Molino ultracentrífuga con control de temperatura inferior a 0 °C, tamaño < 500 µm Solvente: n-Hexano, Temperatura: 105 °C, Presión: 1500 psi (10,3 MPa), 3 ciclos estáticos de 7 min Centrifugación de aclaramiento a 4000 rpm por 10 min a 20 °C Eliminación del hexano en evaporador rotatorio a 45 °C y flujo de nitrógeno gaseoso	Molienda Mezclado líquido-sólido Lixiviación Filtración por cartuchos Concentración Estabilización Congelación Molienda ultracentrífuga Extracción acelerada por solventes (ASE) Separación centrífuga Evaporación	4	Antioxidante natural / Aditivo alimentario líquido	(Leal et al. 2022)
Semillas	Extracción Avanzada	Reducción mecánica en molino criogénico de cuchillas a < 250 µm Adición de mezcla etanol/agua (80:20 v/v), relación 1:15 sólido/líquido Extracción por agitación magnetotérmica a 50 °C por 60 min (rendimiento fenólico optimizado) Filtros de celulosa plisada de 5 µm y posterior cartucho de carbón activado ligero Evaporación rotatoria al vacío a 40 °C, 120 rpm para eliminar solvente orgánico Adición de 0,1 % de ácido cítrico como sinergista y envasado en viales ámbar a 4 °C Inmersión en nitrógeno líquido (-196 °C) por 5 min para fragilizar la testa dura Molino ultracentrífuga con control de temperatura inferior a 0 °C, tamaño < 500 µm Solvente: n-Hexano, Temperatura: 105 °C, Presión: 1500 psi (10,3 MPa), 3 ciclos estáticos de 7 min Centrifugación de aclaramiento a 4000 rpm por 10 min a 20 °C Eliminación del hexano en evaporador rotatorio a 45 °C y flujo de nitrógeno gaseoso	Molienda Mezclado líquido-sólido Lixiviación Filtración por cartuchos Concentración Estabilización Congelación Molienda ultracentrífuga Extracción acelerada por solventes (ASE) Separación centrífuga Evaporación	4	Extracto lipofílico antioxidante industrial	(Mesquita et al. 2021)
Cáscaras y hojas	Nanotecnología	Relación 5g de biomasa fresca en 100 mL de agua deionizada, infusión a 80 °C por 20 min Filtro Whatman N° 1 y microfiltración con membrana de nailon de 0,22 µm Solución de Nitrato de Plata (AgNO3) 1 mM, mezcla extracto: sal en relación 1:9 v/v Reacción a temperatura ambiente (28 °C), agitación magnética leve en oscuridad por 24 h Separación de AgNPs a 12,000 rpm durante 30 min a 4 °C Tres resuspensiones sucesivas en agua desionizada intercaladas con centrifugación para remover biomoléculas libres.	Preparación de extracto acuoso Filtración Adición de sal metálica Reducción biogénica <i>in situ</i> Separación centrífuga Lavado por Re-suspensión	3	Nanopartículas de Plata (AgNPs) biocompatibles	(González-Pedroza et al. 2021)
Residuos	Bioteconología /	Tratamiento con H ₂ SO ₄ (ácido sulfúrico) al 1 % a	Hidrólisis ácida	3 - 4	Nanofibras de	(Miranda et

agroindustriales (Cáscara, semilla, pulpa)	Empaques	120 °C durante 30 minutos para la liberación de azúcares. Autoclave a 121 °C, 15 psi durante 15 minutos para inactivar microbiota nativa Inoculación con <i>Komagataeibacter xylinus</i> al 10 % (v/v), concentración celular inicial 1x10 ⁷ UFC/mL Incubación a 30 °C durante 10 días en condiciones aeróbicas estáticas; pH controlado a 5,0 Tratamiento de las membranas con NaOH 0,1 M a 80 °C por 1 h para lisar y remover células bacterianas Lavado con agua destilada hasta neutralidad (pH 7.0) y posterior homogeneización mecánica	Esterilización Inoculación bacteriana Fermentación estática Lavado alcalino Purificación de nanofibras	celulosa bacteriana para empaque biodegradable	al. 2026)
Residuos (Cáscara, semilla y pulpa)	Biotecnología / Empaques	Secado en estufa de vacío a 50 °C por 18 h hasta alcanzar un contenido de humedad < 5 % Molienda micrométrica en molino planetario de bolas, velocidad 400 rpm por 30 min Mezclador interno (Brabender) a 140 °C, 60 rpm con matriz polimérica biodegradable (PLA/PHA) Extrusor mono husillo, perfil de temperatura: 130-150-160 °C; velocidad de rotación: 45 rpm Etapla previa opcional de purificación de aditivos a 3000 rpm por 10 min	Secado de celulosa bacteriana Molienda Mezclado en fundido Extrusión de película plástica Centrifugación	3-4 Bionanocompuesto ternario ecológico de alta resistencia	(Miranda et al. 2025)
Semillas y cáscaras	Métodos Farmacéuticos	Clasificación organoléptica de frutos descarte y lavado superficial Inmersión en agua destilada y desinfectante de grado alimentario, escurrido por 10 min Trituración mecánica fina, malla de corte < 1 mm Etanol al 80 %, relación masa: solvente 1:10 (w/v), a 25 °C en agitación constante por 72 h Separación mediante filtros Whatman N° 2 en embudo Büchner Evaporador rotatorio a 38 °C, presión de vacío reducida a 80 mbar para evaporar el etanol Congelación previa a -40°C por 12 h, sublimación primaria a -52°C, 0.01 mbar por 48 h	Recolección Lavado Molienda Maceración hidroalcohólica Filtración Concentración Liofilización	3 Extracto liofilizado con potencial antidiabético	(Sosa-Crespo et al. 2025)
Pulpa	Biotecnología / Enzimas	Ajuste de humedad al 60% p/p y suplementación con (NH ₄) ₂ SO ₄ Inóculo de <i>Aspergillus niger</i> cepa industrial a concentración de 1x10 ⁶ esporas/g de sustrato Incubación a 30°C durante 96 horas en biorreactor de bandejas con aireación controlada Extracción de la enzima pectinasa mediante buffer acetato (pH 5.0, 50 mM) a relación 1:5 (p/v) con agitación constante a 150 rpm durante 1 hora. Clarificación del extracto crudo a 6000 rpm por 20 min a 4 °C para eliminar micelio Concentración mediante membranas de corte molecular (MWCO) de 30 kDa a una presión de 2 bar	Acondicionamiento Inoculación Fermentación en estado sólido Extracción enzimática Centrifugación Ultrafiltración	4 Enzima Pectinasa industrial purificada	(García et al. 2024)
Pulpa extra-madura	Métodos Físicos / Térmicos	Inmersión en solución sanitizante neutra por 5 min, enjuague con agua potable Mecánico por tamiz de malla 0,8 mm para separar la pulpa líquida de fibras y semillas Relación pulpa: agua desionizada de 1:3 v/v para optimizar palatabilidad Formulación: Estevia (0.02 % p/v) y ácido ascórbico (0,05 % p/v) para estabilización de color Deshidratación de la pulpa en horno con circulación de aire forzado a 60 °C hasta reducir la actividad de agua (aw) de 0.93 a 0,24. Extracción por inmersión de 5 g de pulpa deshidratada y molida en 200 mL de agua hirviendo (100°C) con un tiempo de reposo de 5 minutos Sistema HTST (Alta Temperatura Corto Tiempo) a 85 °C por 15 segundos y enfriamiento a 4 °C	Lavado Despulpado Dilución Adición de ingredientes Deshidratación térmica Extracción Pasteurización flash	5 Infusión funcional exótica embotellada	(Jaumbocus et al. 2024)
Inflorescencia y hojas	Ingeniería de Procesos	Determinación del Takt time y cálculo del tiempo de ciclo para aumentar la Eficiencia del Ciclo de Proceso (PCE) del 7,97 % al 9,05 %. Trituración y reducción del tamaño de partículas de las hojas secas de guanábana a pulverizado mediante un molino Inspección visual continúa automatizada con rechazo del 5 % por marchitez o daño físico Secado por bomba de calor a 45 °C, reducción del consumo energético en un 35 % frente a hornos convencionales	Acondicionamiento Molienda Clasificación de biomasa Deshidratación	7 - 8 Línea optimizada y sostenible de té de Guanábana	(Damayanti et al. 2024)
Hojas	Nanotecnología / Sensores	10 g de hojas secas en 100 mL de agua mili-Q, hervor a 100 °C por 15 min Adición de 1 mL de extracto a 9 mL de solución de Ácido Cloro áurico (HAuCl ₄) 1 mM Incubación magnética a 35 °C por 30 min; viraje de	Decocción Mezclado con cloruro de oro Reducción coloidal	3 Sensor colorimétrico nanoestructurado de oro (AuNPs)	(Singh et al. 2022)

Hojas	Nanotecnología	color amarillo a rojo rubí (pico espectral a 530 nm) Aislamiento de nanopartículas de oro a 14.000 rpm durante 25 min Dos Re-dispersiones en agua mili-Q con centrifugado intermedio para eliminar impurezas residuales Sonicación en baño ultrasónico (50 W) por 5 min para lograr una dispersión estable sin agregación Extracción asistida por microondas (300 W) de 5 g de biomasa foliar en agua por 3 min	Centrifugación Lavado Dispersión Ultrasónica Extracción	3	Nanopartículas de CuO dopadas con Mn	(P. S. Vindhya et al. 2023)
		Mezcla de Acetato de Cobre Monohidratado [Cu (CH ₃ COO) ₂ ·H ₂ O] al 0,1 M con el extracto preparado Incorporación de Cloruro de Manganeso (MnCl ₂) al 5 % molar con respecto al contenido de Cobre Ajuste de pH a 10,5 mediante adición gota a gota de NaOH 1 M bajo fuerte agitación Separación del precipitado mediante membranas de teflón de 0,45 µm en sistema de vacío Enjuagues sucesivos con agua tridestilada y etanol absoluto para remover trazas de sales Tratamiento térmico en mufla a 450 °C durante 3 horas para la cristalización de la fase óxido Secado por convección forzada a 40 °C durante 16 h, humedad controlada < 8 % Mecanizado por molino de rodillos industriales, granulometría media de 300 µm Adición de metanol industrial al 80 % v/v, relación de alimentación de 1:20 p/v Reactor ultrasónico de flujo continuo, Potencia: 1500 W, Frecuencia: 20 kHz, Tiempo de residencia: 8 min	Adición de sal de cobre Adición de dopante Precipitación química Filtración Lavado Calcinación Secado de hojas Pulverización Mezclado con solvente Cavitación ultrasónica industrial Filtración industrial Concentración			
Hojas	Extracción y Purificación	Filtro prensa de placas con mallas textiles de retención micrométrica (< 10 µm) Evaporador de película descendente operado a 45 °C y presión absoluta de 120 mbar Homogeneizador industrial de cuchillas de alta resistencia, velocidad de corte 4000 rpm Precalentamiento de la mezcla fluida a 60 °C para disminuir viscosidad Sistema de triple efecto al vacío: Efecto 1 (75 °C), Efecto 2 (62 °C), Efecto 3 (48 °C) para resguardar termolábiles Filtración clarificante mediante membranas con asistencia de presión nitrógeno de 1,5 bar Concentración final hasta la obtención de 65°Brix estables para conservación comercial Condiciones óptimas validadas: Temperatura: 62,5 °C, Tiempo: 34,2 min, Solvente: Etanol 63,4 %	Molienda Concentración térmica Evaporación multiefecto Filtración a presión Concentración térmica Extracción	3	Concentrado fenólico de alto poder antioxidante	(Ruiz-López et al. 2025)
Hojas y pulpa	Extracción y Purificación	Separación de la fase líquida de la biomasa foliar agotada tras la maceración. Paso por filtro de gravedad Whatman N° 4 para eliminar material macroscópico Centrifugación industrial a 4000 rpm durante 15 minutos para decantar finos en suspensión Evaporación de solvente etanólico mediante baño de agua Inmersión en agua clorada a 100 ppm durante 5 min Mecánico con remoción manual de corteza y separación de semillas mediante tamiz de 1,5 mm Mezclado a 3000 rpm con adición de maltodextrina al 18 % (p/p) Temperatura del aire de entrada: 130-150 °C, temperatura de salida: 75-85 °C Malla ASTM N°60 para homogenización de granulometría	Prensado mecánico Filtración Centrifugación Evaporación Lavado Despulpado Homogeneización Secado por aspersión Tamizado	3	Extracto de hojas optimizado con alta actividad antioxidante	(Hartati et al. 2024)
Hojas	Extracción y Purificación	Disolución de Qitosano al 1.5 % p/v en ácido acético al 1 % v/v, agitación por 12 h Adición de 0,5 % v/v de extracto etanólico de guanábana y 1 % de glicerol como plastificante Aplicación con boquilla atomizadora fina de 0,8 mm, presión de aire de 2.0 bar sobre frutos frescos Túnel de secado a temperatura templada de 30 °C con flujo de aire suave por 15 minutos Conservación de frutos controlados en cámaras climáticas a 12 °C y humedad relativa de 85 % Maceración de 10 g de hojas trituradas en 100 mL de agua bidestilada a 60 °C por 30 min Mezcla homogénea de Isopropóxido de Titanio (TTIP) disuelto en etanol absoluto (relación 1:5 v/v) Adición del dopante Nitrato de Cobalto [Co (NO ₃) ₂] al 3 % molar, hidrólisis controlada gota a gota Separación del gel/precipitado en embudo Büchner con papel de filtro de poro ultrafino (< 2 µm) Lavados repetidos alternando agua desionizada y etanol absoluto hasta neutralizar subproductos En estufa convencional a 80 °C durante 12 horas para remover la humedad libre	Almacenamiento Maceración foliar Reacción con alcóxido de titanio Precipitación Filtración Lavado Secado	4	Recubrimiento bioactivo botánico para extensión de vida útil	(Banjoet al., 2022)
Guanábana (Pulpa)	Revisión / Valorización	Separación de la fase líquida de la biomasa foliar agotada tras la maceración. Paso por filtro de gravedad Whatman N° 4 para eliminar material macroscópico Centrifugación industrial a 4000 rpm durante 15 minutos para decantar finos en suspensión Evaporación de solvente etanólico mediante baño de agua Inmersión en agua clorada a 100 ppm durante 5 min Mecánico con remoción manual de corteza y separación de semillas mediante tamiz de 1,5 mm Mezclado a 3000 rpm con adición de maltodextrina al 18 % (p/p) Temperatura del aire de entrada: 130-150 °C, temperatura de salida: 75-85 °C Malla ASTM N°60 para homogenización de granulometría	Prensado mecánico Filtración Centrifugación Evaporación Lavado Despulpado Homogeneización Secado por aspersión Tamizado	5	Polvo funcional de guanábana	(Santos et al. 2023)
Semillas, hojas, corteza y hibiscus	Métodos Biológicos / Conservación	Disolución de Qitosano al 1.5 % p/v en ácido acético al 1 % v/v, agitación por 12 h Adición de 0,5 % v/v de extracto etanólico de guanábana y 1 % de glicerol como plastificante Aplicación con boquilla atomizadora fina de 0,8 mm, presión de aire de 2.0 bar sobre frutos frescos Túnel de secado a temperatura templada de 30 °C con flujo de aire suave por 15 minutos Conservación de frutos controlados en cámaras climáticas a 12 °C y humedad relativa de 85 % Maceración de 10 g de hojas trituradas en 100 mL de agua bidestilada a 60 °C por 30 min Mezcla homogénea de Isopropóxido de Titanio (TTIP) disuelto en etanol absoluto (relación 1:5 v/v) Adición del dopante Nitrato de Cobalto [Co (NO ₃) ₂] al 3 % molar, hidrólisis controlada gota a gota Separación del gel/precipitado en embudo Büchner con papel de filtro de poro ultrafino (< 2 µm) Lavados repetidos alternando agua desionizada y etanol absoluto hasta neutralizar subproductos En estufa convencional a 80 °C durante 12 horas para remover la humedad libre	Preparación de dispersión biopolimérica Formulación con extracto Aspersión (Spraying) controlada Secado Almacenamiento Maceración foliar Reacción con alcóxido de titanio Precipitación Filtración Lavado Secado	4	Recubrimiento bioactivo botánico para extensión de vida útil	(Banjoet al., 2022)
Hojas	Nanotecnología	Separación de la fase líquida de la biomasa foliar agotada tras la maceración. Paso por filtro de gravedad Whatman N° 4 para eliminar material macroscópico Centrifugación industrial a 4000 rpm durante 15 minutos para decantar finos en suspensión Evaporación de solvente etanólico mediante baño de agua Inmersión en agua clorada a 100 ppm durante 5 min Mecánico con remoción manual de corteza y separación de semillas mediante tamiz de 1,5 mm Mezclado a 3000 rpm con adición de maltodextrina al 18 % (p/p) Temperatura del aire de entrada: 130-150 °C, temperatura de salida: 75-85 °C Malla ASTM N°60 para homogenización de granulometría	Prensado mecánico Filtración Centrifugación Evaporación Lavado Despulpado Homogeneización Secado por aspersión Tamizado	5	Polvo funcional de guanábana	(Santos et al. 2023)

Pétalos de la flor	Nanotecnología / Purificación	Tratamiento de cristalización en horno mufla a 500 °C por 4 h para estabilizar fase anatasa Tratamiento de MWCNTs con mezcla sulfonítrica (H ₂ SO ₄ /HNO ₃ 3:1 v/v) a 70 °C por 4 h para inducir grupos -COOH Reducción biogénica in situ de AgNO ₃ (5 mM) usando extracto de guanábana sobre la superficie de los MWCNTs Disolución de Polisulfona (PSf) al 15 % p/p en Dimetilacetamida (DMAc) añadiendo 0,5 % p/p de MWCNTs-AgNPs Inmersión rápida en baño de coagulación con agua destilada a 20 °C para la formación de la estructura porosa Casteo en frío controlado (grosor de película húmeda de 150 µm) usando un aplicador automático (Doctor Blade)	Calcinación controlada Funcionalización de nanotubos Decoración con AgNPs Mezclado de polímero Inversión de fase Extrusión de membrana de filtración	4	Material filtrante	(Amaku& Martineigh, 2022)
Semillas	Extracción Avanzada	Extracción Soxhlet continua con n-hexano por 6 h, relación de biomasa de 1:10 p/v para eliminar lípidos Solución acuosa ajustada a pH 9,5 con NaOH 1 M, agitación mecánica a 40 °C por 90 min Procesamiento con sonda de titanio, Frecuencia: 20 kHz, Potencia nominal: 600 W (amplitud 60 %) por 15 min Ajuste preciso del pH del extracto clarificado a 4,5 mediante adición controlada de HCl 1 M Tres centrifugaciones de lavado con agua desionizada ajustada a pH 4.5 para purificar proteínas Deshidratación primaria a -50 °C, presión absoluta de 0,04 mbar durante 36 h, obteniendo polvo proteico	Desgrasado con hexano Extracción alcalina Cavitación por ultrasonido de alta intensidad Precipitación isoelectrica Lavado Liofilización	4	Aislado proteico-funcionalizado de alta solubilidad	(López-Mártiret al., 2024)
Hojas	Nanotecnología	Lixiviación acuosa de 5 g de polvo foliar en 100 mL de agua tridestilada a 90 °C por 25 min con un sistema de reflujo continuo Mezclado de Nitrato de Cobre [Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O] y Nitrato de Niquel [Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O] al 5 % molar con el extracto Titulación lenta con hidróxido de amonio (NH ₄ OH) al 2 M hasta pH estable de 9.0 bajo agitación Sedimentación de los núcleos coloidales cristalinos a 10,000 rpm durante 20 min Secado del precipitado verde oscuro en estufa ventilada a 100 °C por 6 horas Maceración exhaustiva con metanol absoluto	Extracción de Sólido-Líquido Reacción de reducción e hidrólisis Precipitación coloidal Centrifugación Secado	3	Nanopartículas biocidas de CuO dopadas con Ni	(P.S. Vindhya et al. 2023)
Hojas	Métodos Biológicos / Farmacéuticos	Preparación de soluciones madre en DMSO al 20 %, diluciones binarias seriadas desde 128 mg/mL y 256 µg /mL Preparación de suspensión de MRSA estandarizada al 0,5 de la escala de MacFarland (1,5x10 ⁸ UFC/mL)	Maceración Diluciones seriadas Inoculación bacteriana	3	Agente modulador sinérgico para terapias antibióticas	(Negloet al., 2021)

Así mismo, en México, Sosa-Crespo et al. (2025) utilizaron la semilla y cáscaras de la guanábana obteniendo extracto liofilizado con potencial antidiabético. Siguiendo los procesos de recolección, lavado, molienda con una trituración mecánica fina, malla de corte <1mm, maceración hidroalcohólica al 80 % durante 72 horas, filtración, concentración y finalmente liofilización a -52 °C y 0,01 mbar por 48 horas. Mientras tanto, en Colombia, García et al. (2024) aprovecharon la pulpa y residuos para la producción de enzima pectinasa industrial purificada. Siguiendo los procesos de acondicionamiento, inoculación, fermentación en estado sólido utilizando *Aspergillus niger* en un biorreactor de bandejas a 30°C por 96 horas, extracción de la enzima pectinasa mediante buffer acetato (pH 5,0 y 50 mM) a relación 1:5 (p/v) con agitación constante a 150 rpm durante 1 hora, centrifugación del extracto crudo a 6000 rpm por 20 minutos a 4 °C para eliminar micelio y Ultrafiltración a la enzima con membranas de corte molecular de 30 kDa.

En México, González-Pedroza et al. (2021) sintetizaron nanopartículas de plata (AgNPs) biocompatibles de bajo costo y potencial antitumoral empleando extractos acuosos de cáscara y hojas como agentes reductores en una solución de AgNO₃ 1mM a una temperatura ambiente (28 °C) por 24 horas, centrifugación, separación de AgNPs a 12,00 rpm durante 30 minutos a 4 °C) y finalizando con un lavado de

tres suspensiones sucesivas va en agua desionizada y centrifugación para mover fitocompuestos libres. Mientras en la India, Singh et al. (2022) utilizaron las hojas de guanábana, elaborando un sensor colorimétrico nanoestructurado de oro (AuNPs) para la detección de iones de cadmio. Siguiendo los procesos de la preparación del extracto fitoquímico utilizando 10 gramos de hojas secas en 100 mL de agua mili-Q, hervor a 100 °C por 15 minutos, mezclado de cloruro de oro (Combinada con ácido cloro áurico - HauC14) 1mM, reducción coloidal se le aplicara en una incubación magnética a 35 °C por 30 minutos, centrifugación, lavado eliminando impurezas residuales y finalizando con la dispersión ultrasónica a (50 W) durante 5 minutos para lograr una dispersión estable sin agregación.

En la India, P. S. Vindhya et al. (2023) mencionaron que las de hojas de guanábana utilizaron para producir nanopartículas de CuO dopadas con Mn (Manganeso). Mediante los procesos de extracción asistida por microondas (300 W, 3 minutos), adición de sal de cobre, adición de dopante, seguida de una precipitación química con NaOH a pH 10.5, filtración, lavado y finalizando con calcinación a 450 °C durante 3 horas. Asimismo, este equipo de investigación P.S. Vindhya et al. (2023) utilizando hojas de guanábana, elaborando nanopartículas biocidas de CuO dopadas con Ni. Siguiendo los procesos de extracción foliar hervor en reflujo

de 5 gramos de polvo foliar en 100 mL de agua tridestilada a 90 °C por 25 minutos, reacción de reducción e hidrólisis mezcla de nitrato de cobre y nitrato de níquel al 5 % molar con el extracto, precipitación coloidal a pH 9.0 bajo agitación, centrifugación a alta velocidad sedimentación de los núcleos coloidales cristalinos a 10,000 rpm durante 20 minutos y secado del precipitado verde oscuro en estufa ventilada a 100 °C por 6 horas.

En Sudáfrica, Amaku et al. (2022) utilizaron los pétalos de la flor de Guanábana, elaborando un Material filtrante. Mediante los procesos de funcionalización de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs) mediante tratamiento sulfonítrico a 70 °C, decoración con AgNPs biogénicas estabilizadas con extracto de guanábana, mezclado de polímero incorporando membranas de polisulfona (PSf) al 15 %, inversión de fase en baño de coagulación con agua destilada a 20 °C y finalmente extrusión de membrana de filtración casteo en frío controlado usando un aplicador automático. Mientras tanto, en la India, P S et al. (2025) mencionaron que las hojas de guanábana se usaron para producir nanopartículas puras y dopadas de dióxido de titanio (TiO₂) con cobalto (Co), siguiendo los procesos de maceración foliar de 10 g de hojas trituradas en 100 mL de agua bidestilada a 60 °C por 30 minutos, reacción con alcóxido de titanio una mezcla homogénea de Isopropóxido de Titanio (TTIP) disuelto en etanol absoluto, precipitación adicionando el dopante nitrato de cobalto al 3 % molar, filtración, lavado, secado en una estufa convencional a 80 °C durante 12 horas para remover la humedad libre y finalizando con una calcinación controlada tratando la cristalización en horno mufla a 500 °C por 4 horas para estabilizar fase anatasa.

En Brazil, Miranda et al. (2026) desarrollaron nanofibras de celulosa bacteriana para empaque biodegradable utilizando residuos agroindustriales (cáscara, semillas, pulpa) de la guanábana. Mediante los procesos de hidrólisis ácida tratamiento con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 1 % a 120 °C por 30 minutos para liberar azúcares, esterilización ocupando autoclave a 121 °C, 15 psi durante 15 minutos para inactivar microbiota nativa, inoculación bacteriana con *Komagataeibacter xylinus* al 10 %, fermentación estática de 10 días a 30 °C, lavado alcalino y finalizando con la purificación de nanofibras lavando con agua destilada hasta neutralidad (pH 7,0). En un trabajo consecutivo, Miranda et al. (2025) mencionaron que utilizaron residuos de guanábana (cáscara, semilla y pulpa) obteniendo el bionanocompuesto ternario ecológico de alta resistencia. Mediante los procesos de secado de celulosa bacteriana a 50 °C por 8 horas hasta alcanzar un contenido de humedad <5 %, molienda, mezclado en fundido mezclador interno a 140 °C, 60 rpm con matriz polimétrica biodegradable (Ácido láctico-PLA / Polihidroxialcanoatos-PHA), extrusión de película plástica extrusor mono husillo a temperatura 130 °C – 150 °C - 160 °C a una velocidad de rotación de 45 rpm y finalizando con la centrifugación etapa previa opcional de purificación de aditivos a 3000 rpm por 10 minutos.

En Indonesia, Damayanti et al. (2024) mencionaron que la inflorescencia y hojas de guanábana utilizaron para producir una línea optimizada y sostenible de té. Mediante los procesos de acondicionamiento, molienda, clasificación de biomasa y finalizando con la deshidratación optimizada a

45 °C reduciendo el consumo de energía en un 35 % frente a hornos convencionales. Mientras tanto en Brazil, Santos et al. (2023) utilizaron la pulpa de la guanábana, para realizar polvo funcional de guanábana, siguiendo los procesos de lavado, despulpado, homogeneización un mezclado a 3000 rpm con adición de maltodextrina al 18 %, secado por aspersión temperatura del aire de entrada a 130 °C – 150 °C y temperatura de salida a 75 °C – 85 °C y finalizando con el tamizado.

3.3. Nivel de Madurez (TRL) de las Tecnologías de los productos obtenidos a partir de la guanábana.

El Nivel de Madurez Tecnológico (TRL), se considera una herramienta para evaluar escalabilidad de las tecnologías de los productos obtenidos a partir de la guanábana, desde la investigación en laboratorio hasta su aplicación industrial. En la **Figura 3** se muestra cómo se organizan las tecnologías en un sistema compuesto por 9 niveles, que va desde el TRL 1, correspondiente a la fase inicial de una idea, hasta el TRL 9, que indica el desarrollo completo de la tecnología y que está lista para operar industrialmente.

El análisis de diversas metodologías para obtener productos terminados a partir de la *guanábana* demuestra un amplio Nivel de Madurez Tecnológico (TRL). Donde la mayoría de las metodologías se encuentra en niveles intermedios, TRL 3 y TRL 4. Lo que evidencia que han superado la fase experimental y se encuentran en validación en entornos reales, pero aún no han alcanzado la industrialización, a diferencia de la línea optimizada y sostenible de té de Guanábana que se encuentra en el nivel TRL 7-8 como se muestra en la **Figura 3**. En TRL 5, se encuentran las tecnologías que han superado la fase experimental y han sido evaluadas en entornos cercanos a los reales, demostrando viabilidad técnica y sensorial. Entre estos, destaca la Infusión funcional exótica embotellada de (*Jaumbocus* et al. 2024), y Polvo funcional de guanábana (*Soursop poder*) de (Santos et al. 2023). Estos productos cuentan con formulaciones completas, habiendo superado análisis fisicoquímicos y sensoriales críticos, garantizando su funcionalidad y aceptabilidad para el mercado de alimentos procesados.

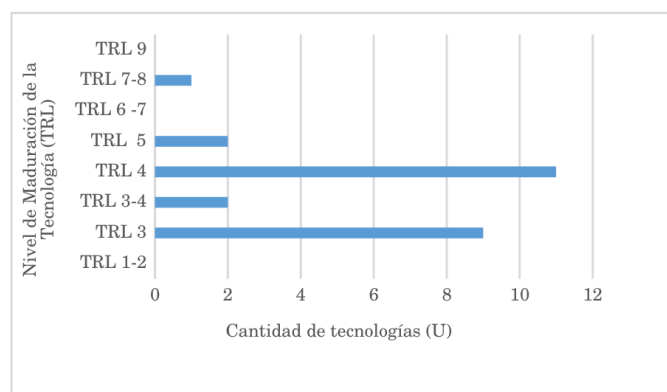


Figura 3 | Distribución de Tecnologías de los productos obtenidos a partir de la guanábana según su Nivel de Madurez (TRL)

De igual manera las tecnologías categorizadas en TRL4 co-

rresponden a procesos validados principalmente a escala de laboratorio, donde se ha confirmado la viabilidad técnica mediante análisis fisicoquímicos rigurosos, pero aun requieren pruebas de escalado para entornos relevantes. Productos como el Té funcional deshidratado de guanábana (Do et al. 2024), Almidón funcional nativo de guanábana (Ramírez-Balboa et al. 2021), Extracto purificado de acetogeninas y polifenoles (Neglo et al. 2021), Antioxidante natural / Aditivo alimentario líquido (Leal et al. 2022), Extracto lipofílico antioxidante industrial (Mesquita et al. 2021), Ex-

tracto fitoquímico purificado antibacterial, Extracto de hojas optimizado con alta actividad antioxidante (Hartati et al. 2024), Recubrimiento bioactivo botánico para extensión de vida útil (Banjo et al. 2022) Filtro nanocompuesto avanzado para desinfección de agua (Amaku et al. 2022), Aislado proteico funcionalizado de alta solubilidad (López-Mártir et al. 2024) y Enzima Pectinasa industrial purificada (García et al. 2024). Estas tecnologías han demostrado su potencial funcional, pero demandan una validación en plantas piloto para verificar su comportamiento bajo condiciones industriales.

MP / Producto	Fruta	Hoja	Inflorescencia	Product 01	Product 02	Product 03	Product 04	Product 05	Product 06	Product 07	Product 08	Product 09	Product 10	Product 11	Product 12	Product 13	Product 14	Product 15	Product 16	Product 17	Product 18	Product 19	Product 20	Product 21	Product 22	Product 23	Product 24	Product 25
Planta de guanábana	TAGI-G26																											
Fruto (Pulpa y corteza)				TAGI-G01																								
Pulpa					TAGI-G02	TAGI-G03	TAGI-G04	TAGI-G05	TAGI-G06																			
Fruto extra-madura											TAGI-G07	TAGI-G08	TAGI-G09															
Hojas														TAGI-G10	TAGI-G11	TAGI-G12	TAGI-G13	TAGI-G14	TAGI-G15	TAGI-G16	TAGI-G17	TAGI-G18	TAGI-G19	TAGI-G20				
Inflorescencia																								TAGI-G21				
Semillas																									TAGI-G22	TAGI-G23		
Flor (Pétalos)																												TAGI-G24

Figura 4 | Matriz de materias primas, tecnologías y productos a partir de la planta de guanábana, TAGI-G (Tecnologías de la guanábana)

Respecto a los niveles TRL 3-4, se encuentran procesos de transición donde la validación técnica se encuentra en una fase intermedia, combinando pruebas experimentales con ajustes de los componentes del sistema. Aquí se incluyen los procesos como las nanofibras de celulosa bacteriana para empaque biodegradable (Miranda et al. 2026) y Bionanocompuesto ternario ecológico de alta resistencia (Miranda et al., 2025).

Finalmente, el TRL 3 engloba investigaciones centradas en la validación de conceptos, estudios de factibilidad fundamental y síntesis experimental de componentes a nivel de laboratorio. Estas tecnologías, si bien han demostrado una efectividad científica significativa, se mantienen en etapas tempranas de desarrollo. Productos como la Fracciones de almidón y pectina con acetogeninas (Santos-Santos et al. 2026), Nanopartículas de Plata (AgNPs) biocompatibles (González-Pedroza et al. 2021), Extracto liofilizado con potencial antidiabético (Sosa-Crespo et al. 2025), Sensor colorimétrico nanoestructurado de oro (AuNPs) (Singh et al. 2022), Nanopartículas de CuO dopadas con Mn(P. S. Vindhya et al. 2023), Concentrado fenólico de alto poder antioxidante (Ruiz-López et al. 2025), Nanopartículas puras y dopadas de TiO2 con Co (P S et al. 2025), Nanopartículas biocidas de CuO dopadas con Ni (P.S. Vindhya et al. 2023), Agente modulador sinérgico para terapias antibióticas (Neglo et al. 2021). Estos procesos representan el fundamento tecnológico base, cuyo potencial disruptivo exige la transición hacia pruebas de escalabilidad y caracterización del comportamiento en condiciones operativas reales.

3.4. Matriz de Materia Prima-Tecnologías-Productos y Ruta tecnológica para el desarrollo agroindustrial

En la **Figura 4** se presenta una matriz que relaciona diferentes materias primas de la *Annona muricata* L. con los productos obtenidos y las tecnologías aplicadas en su transformación. Se muestran las operaciones y procesos utilizados aprovechando cada parte de la guanábana para producir productos innovadores.

La **Figura 4** presenta una representación que organiza de manera sistemática las diferentes fracciones de la planta, entre ellas pulpas, cáscara, semillas, hojas, tallos e inflorescencias, relacionándolas con las tecnologías empleadas para su transformación y con los productos finales obtenidos. La matriz permite observar que el aprovechamiento de la guanábana no se limita al resto como alimento fresco, sino que incorpora también subproductos y residuos vegetales como materias primas para procesos de mayor valor agregado.

De acuerdo con el documento la información fue estructurada considerando las materias primas, las operaciones de transformación y los productos resultantes, Con el propósito de favorecer un aprovechamiento integral de la especie. Desde el enfoque agroindustrial la matriz TAGI permite visualizar las distintas rutas de transformación que pueden desarrollarse a partir de la biomasa de Guanábana. La relación entre materia prima, tecnología y producto facilita la identificación de alternativas para aprovechar tanto las fracciones de interés comercial como aquellas que normalmente podrían considerarse residuos. En ese sentido, la **Figura 4** constituye una herramienta para visualizar el potencial de valorización integral de la *guanábana* y orientar el desarrollo de productos con mayor valor agregado mediante

procesos tecnológicos adecuados.

En la **Figura 5** se esquematiza la agrupación sistemática de las tecnologías de transformación (TAGI-G01 a TAGI-G26), detallando la secuencia de operaciones unitarias empleadas en la obtención de derivados a partir de *Guanábana* El des-

glose operacional evidencia que cada cadena tecnológica se configura mediante etapas progresivas, tales como acondicionamiento, extracción, separación y acabado, cuya selección y concatenación varían en función de la matriz vegetal procesada y del producto final deseado, estableciendo así las bases técnicas para el escalado agroindustrial de la especie.

Tecnología	Operaciones							
TG1 - TFDG	cosecha	lavado	deshidratación por aire forzado	molienda	tamizado			
TG2 - AFNG	pelado	despulpado	homogenización	tamizado mecánico	centrifugación asistida	lavado de almidón	secado	molienda
TG3 - FPAP	secado de hojas	pulverización	adición de solventes	extracción térmica asistida	filtración al vacío	concentración		
TG4 - EPAP	extracción hidroalcohólica	filtración	adición de etanol absoluto	precipitación fraccionada	centrifugación	secado		
TG5 - AN-AAL	molienda	mezclado líquido-sólido	lixiviación	filtración por cartuchos	concentración	estabilización		
TG6 - ELAI	complotación	molienda ultracentrífuga	extracción acelerada por solventes (ASE)	separación centrífuga	evaporación			
TG7 - NPAG-B	preparación de extracto acuoso	filtración	adición de sal metálica	reducción biológica in situ	separación centrífuga	lavado por re-suspensión		
TG8 - HJAL-EB	hidrólisis ácida	esterilización	inoculación bacteriana	fermentación estática	lavado alcalino	purificación de nanofibras		
TG9 - BTEAR	secado de celulosa bacteriana	molienda	mezclado en fundido	extrusión de película plástica	centrifugación			
TG10 - ELPA	recolección	lavado	molienda	mercerización hidroalcohólica	filtración	concentración	lío-filtración	
TG11 - EPIP	acondicionamiento	inoculación	fermentación en estado sólido	extracción enzimática	centrifugación	ultrafiltración		
TG12 - IFEE	lavado	despulpado	dilución	adición de ingredientes	deshidratación térmica	extracción	pasteurización flash	
TG13 - LOSTG	acondicionamiento	molienda	clasificación de biomasa	deshidratación				
TG14 - SCNAu	decocción	mezclado con cloruro de oro	reducción coloidal	centrifugación	lavado	dispersión ultrasónica		
TG15 - NpCuO-Mh	extracción	adición de sal de cobre	adición de dopante	precipitación química	filtración	lavado	calcinación	
TG16 - EFPA	secado de hojas	pulverización	mezclado con solvente	cavitación ultrasónica industrial	filtración industrial	concentración		
TG17 - CFAPA	molienda	concentración térmica	evaporación multiefecto	filtración a presión	concentración térmica			
TG18 - EHOAA	extracción	presado mecánico	filtración	centrifugación	evaporación			
TG19 - PFG	lavado	despulpado	homogenización	secado por aspiración	tamizado			
TG20 - RBBEVU	preparación de dispersión biopolimérica	formulación con extracto	aspersión (Spraying) controlada	secado	almacenamiento			
TG21 - NPITIC2-Co	maceración foliar	reacción con alcóxido de titanio	precipitación	filtración	lavado	secado	calcinación controlada	
TG22 - FNADA	funcionalización de nanotubos	decoración con AgNPs	mezclado de polímero	inversión de fase	extrusión de membrana de filtración			
TG23 - APFAS	desgasado con hexano	extracción alcalina	cavitación por ultrasonido de alta intensidad	precipitación isoelectro	lavado	lío-filtración		
TG24 - EBCuO-Ni	extracción de sólido-líquido	reacción de reducción e hidrólisis	precipitación coloidal	centrifugación	secado			
TG25 - AMSTA	maceración	diluciones seriadas	inoculación bacteriana					

Figura 5 | Operaciones aplicadas a los productos elaborados a partir de la guanábana

En la **Figura 6** se evidencia las tecnologías aplicadas para la obtención de productos a partir de la guanábana. Se presentan distintos procesos agrupados y sus porcentajes de repetición, organizados desde los más repetitivos hasta los menos comunes.

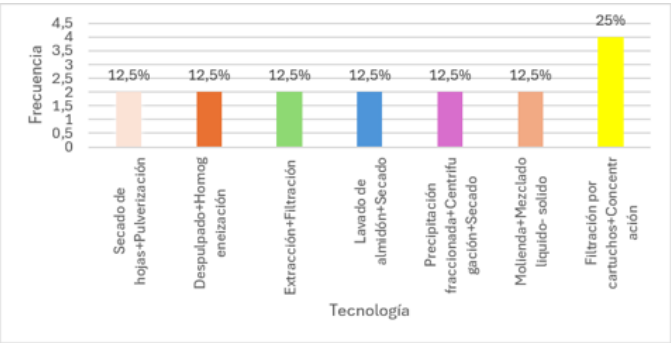


Figura 6 | Tecnologías repetitivas de los productos elaborados a partir de la guanábana

Las operaciones unitarias con mayor recurrencia en los procesos son aquellas orientadas a la conservación. En primer lugar, de operaciones unitarias, la filtración por cartuchos con concentración representa el porcentaje más alto de repetición, con un 25 %, lo cual coincide con los planteamientos técnicos de Prado-Acebo et al. (2024), quien señala que los sistemas de filtración por cartuchos industriales y los procesos de concentración son fundamentales en la industria agroalimentaria para la retención de coloides, clarificación de fluidos y estabilización microbiana previa al envasado.

Por su parte, la operación unitaria de precipitación fraccionada, centrifugación y secado, registra un 12,5 % constituyendo una de las etapas esenciales de separación sólido-líquido y fraccionamiento de compuestos, tal como lo destaca (Bensaa-da et al. 2023) al referirse a las técnicas de aislamiento y

recuperación de productos biotecnológicos. Finalmente, el resto de las operaciones unitarias, secado de hojas y pulverización, despulpado y homogenización, extracción y filtración, lavado de almidón y secado, y la molienda con mezclado líquido-sólido, comparten esta misma frecuencia del 12,5 % cada una, formando parte de las fases clave de acondicionamiento y preparación mecánica dentro de la línea de procesamiento.

A pesar de registrar una menor recurrencia individual del 12,5 % en operaciones unitarias de acondicionamiento y preparación, como el secado y pulverización, despulpado y homogenización, extracción y filtración, lavado de almidón y secado, y la molienda con mezclado líquido-sólido, estas etapas son determinantes en la configuración física, extracción de principios activos e inocuidad del producto final.

Para determinar la frecuencia relativa de las operaciones unitarias representadas en la **Figura 6**, se contabilizaron 16 ocurrencias (n = 16), correspondientes al total de operaciones identificadas dentro de las rutas tecnológicas analizadas. El porcentaje de cada categoría se calculó dividiendo su frecuencia de aparición entre el total de ocurrencias y multiplicando el resultado por 100. Así mismo las operaciones registradas de dos veces representan el 12,5 %, mientras que la filtración por cartuchos y concentración, con cuatro ocurrencias, alcanzo el 25 %. Estos porcentajes expresan, por tanto, la frecuencia relativa de aparición de cada operación unitaria respecto al total contabilizado.

En la **Figura 7** se muestran las rutas de tecnológicas para la obtención de diferentes productos a partir de la guanábana, donde un conjunto de procesos permite transformar la materia prima en productos terminados. La ruta organiza todas las técnicas necesarias para obtener derivados como té funcional deshidratado, almidón funcional nativo, Extracto purificado de acetogeninas y polifenoles, polvo funcional entre otros.

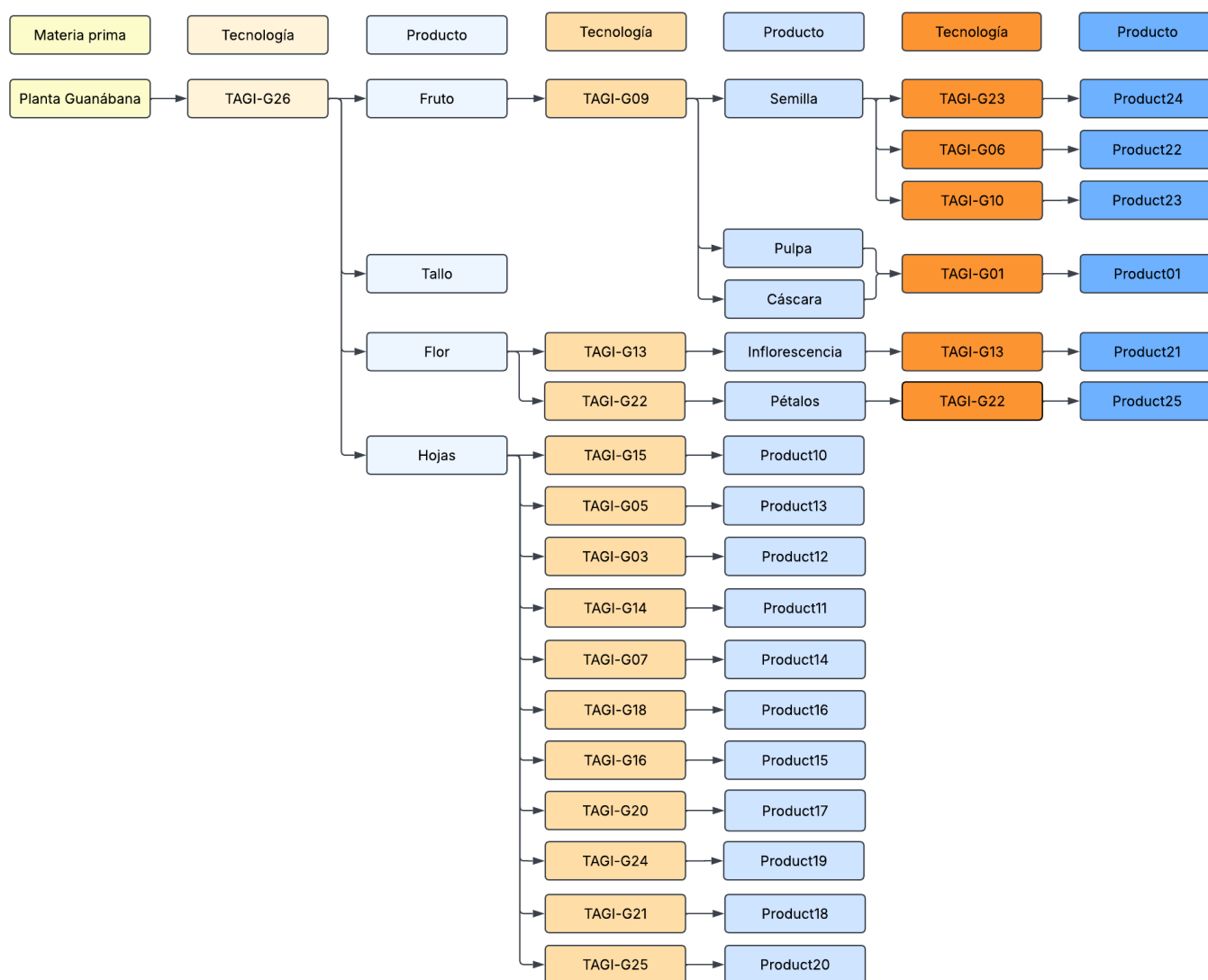


Figura 7 | Rutas tecnológicas para la obtención de diferentes productos a partir de la planta de guanábana

El análisis de las rutas tecnológicas aplicadas a la guanábana muestra como diferentes tecnologías pueden transformar cada una de sus partes en productos de valor agregado. Las rutas establecidas reflejan una estructura organizada, siendo clave para obtener derivados. Algunas materias primas como la pulpa, hojas y semilla utilizan múltiples TAGI-G evidenciando su alta versatilidad. Mientras que, la inflorescencia y pétalos requieren rutas más específicas.

Por otro lado, Prado-Acebo et al. (2024) al examinar las cadenas de valor y el procesamiento agroindustrial de frutos tropicales, destacan que la aplicación secuencial de operaciones unitarias optimiza el aprovechamiento integral de la biomasa vegetal. En la misma línea, (Bensaada et al. 2023) señalan que el desglose de materias primas complejas mediante tecnologías escalonadas permite diversificar la matriz productiva hacia derivados de mayor valor agregado.

El fruto, la flor y las hojas de guanábana son procesados mediante múltiples tecnologías mientras que el tallo no. El fruto utiliza las tecnologías TAGI-G09, orientada a separar la semilla, la cual emplea tecnologías como TAGI-G23, TAGI-G06 y TAGI-G10 para la obtención de productos como

el Product22 (Extracto lipofílico antioxidante industrial), Product23 (Extracto liofilizado con potencial antidiabético), Product24 (Aislado proteico funcionalizado de alta solubilidad) y a integrar la pulpa y la cáscara mediante la TAGI-G01 para la obtención del Product01 (Té funcional deshidratado de guanábana). Las flores presentan rutas donde se destaca la TAGI-G13 para la inflorescencia la cual utiliza nuevamente la misma tecnología para el Product21 (Línea optimizada y sostenible de té de Guanábana) y la TAGI-G22 para los pétalos, los cuales se procesan mediante la misma tecnología para el Product25 (Aislado proteico funcionalizado de alta solubilidad). Las hojas de guanábana son los componentes que muestran mayor diversidad tecnológica. Tecnologías como TAGI-G03, TAGI-G05, TAGI-G15, TAGI-G14, TAGI-G07, TAGI-G18, TAGI-G16, TAGI-G20, TAGI-G24, TAGI-G21 y TAGI-G25 permiten rutas directas hacia una variedad de productos estandarizados desde el Product10 hasta el Product20. Por su parte (Ito et al. 2010), al examinar la valorización de residuos agroindustriales en sistemas productivos sostenibles, destacan que la incorporación de operaciones unitarias y tecnologías de transformación limpia optimiza el aprovechamiento integral de la biomasa, permitiendo cerrar

ciclos de producción y diversificar la oferta de bioproductos derivados de forma eficiente.

4. Conclusiones

La elaboración de la matriz de tecnologías y productos derivados de guanábana permitió organizar de manera integrada las principales materias primas, operaciones unitarias, condiciones de procesamiento, niveles de madurez tecnológica (TRL) y productos derivados de las diferentes partes de la planta. La matriz evidenció que la pulpa, cáscara, semilla, hojas e inflorescencias pueden ser aprovechadas mediante diferentes alternativas de transformación, permitiendo identificar rutas tecnológicas orientadas a la obtención de productos funcionales y materiales de mayor valor agregado.

Se determinó que la mayoría de las tecnologías analizadas se encuentran en los niveles de madurez tecnológica TRL 3 y 4, lo que indica que han superado la etapa experimental inicial, pero todavía requieren validación y optimización para alcanzar un escalamiento industrial definitivo. También

se identificó una amplia diversidad de productos, entre ellos té e infusiones funcionales, almidón, extracto antioxidantes y fitoquímicos, nanopartículas y materiales basados en nanofibras de celulosa. Asimismo, la filtración por cartuchos combinada con procesos de concentración presentó la mayor frecuencia de repetición entre las operaciones unitarias identificadas, representando el 25 % del total de operaciones unitarias registradas. Por su parte, las operaciones unitarias de secado, pulverización, despulpado, homogeneización y extracción alcanzaron individualmente una frecuencia del 12,5 % del total

La matriz de Materias primas – Tecnologías – Productos podría ser utilizada para la elaboración no solamente de rutas tecnológicas sino también como instrumento que organice el desarrollo agroindustrial o industrial de una región. Esta matriz y las rutas tecnológicas pudiese ser aplicada no solamente a la guanábana como se demuestra en la presente investigación sino también a otras materias primas, productos que permitan proyectar el desarrollo de una región, aprovechando sus recursos existentes.

Contribuciones de los autores

Jeyson Jair Tanguila Andy: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Fernando Daniel Chicaiza Shiguango: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Amaury Pérez Martínez: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aprobaron la versión enviada y editada.[0.5em]

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

AFZAAL, Muhammad, SAEED, Farhan, ASGHAR, Aasma, SHAH, Yasir Abbas, IKRAM, Ali, ATEEQ, Huda, HUSSAIN, Muzzamal, OFOEDU, Chigozie E. and CHACHA, James S., 2022. Nutritional and Therapeutic Potential of Soursop. ALI, Anis (ed.), *Journal of Food Quality*. Online. 30 August 2022. Vol. 2022, p. 1–9. DOI: 10.1155/2022/8828358. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2022/8828358/>

AGUILAR M, Sandra Bibiana, KOGSON Q., José Fernando and BARREIRA SÁNCHEZ, Carlos Felipe, 2022. Annona muricata L., 1753. Magnoliales. Annonaceae: evaluación preliminar de su diversidad genética en Colombia, mediante marcadores moleculares microsatélites. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*. Online. 1 July 2022. Vol. 26, no. 2, p. 37–51. DOI: 10.17151/bccm.2022.26.2.2. Available from: <https://revistasoj.s.ualdas.edu.co/index.php/botetincientifico/article/view/7515>

AGUILAR-VILLALVA, Ricardo, MOLINA, Gustavo A., ESPAÑA-SÁNCHEZ, Beatriz Liliana, DÍAZ-PEÑA, Luis Fernando, ELIZALDE-MATA, Alberto, VALERIO, Edgar, AZANZA-RICARDO, Cristy and ESTEVEZ, Miriam, 2021. Antioxidant capacity and antibacterial activity from Annona cherimola phytochemicals by ultrasound-assisted extraction and its comparison to conventional methods. *Arabian Journal of Chemistry*. Online. July 2021. Vol. 14, no. 7, p. 103239. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103239. Available from: <https://arabjchem.org/antioxidant-capacity-and-antibacterial-activity-from-annona-cherimola-phytochemicals-by-ultrasound-assisted-extraction-and-its-comparison-to-conventional-methods/>

AMAKU, James F. and MARTINCIGH, Bice S., 2022. Synthesis and Characterization of Nanocomposites Containing Silver Nanoparticle – Decorated Multiwalled Carbon Nanotubes for Water Disinfection. In: *Waste and Biomass Valorization*. Online. p. 149–172. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-021-01515-w>

BANJO, Temitope T., OLUWOLE, Omowunmi R. and NZEI, Victoria I., 2022. Preservation of Lycopersicon esculentum (Tomatoes) with Extracts of Annona muricata (Soursop) and Hibiscus sabdariffa (Roselle Plant). *Tropical Life Sciences Research*. Online. 31 March 2022. Vol. 33, no. 1, p. 1–22.

DOI: 10.21315/tlsr2022.33.1.1. Available from: https://ejournal.usm.my/tlsr/article/view/tlsr_vol33-no-1-2022_1/pdf

BENSAADA, Souad, CHABRIER, François, GINISTY, Pascal, FERRAND, Carine, PERUZZI, Gabriele, VALAT, Marc and BENNETAU-PELISSERO, Catherine, 2023. Improved Food-Processing Techniques to Reduce Isoflavones in Soy-Based Foodstuffs. *Foods*. Online. 5 April 2023. Vol. 12, no. 7, p. 1540. DOI: 10.3390/foods12071540. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/7/1540>

CATHERINE G. MANNING, 2023. Technology Readiness Levels - NASA. . Online. 2023. Available from: <https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/> [Accessed 8 September 2026].

CAVALCANTE, Lourival F., SILVA-MATOS, Raíssa R. S., SOUTO, Antônio G. de L., LIMA NETO, Antonio J. de, NUNES, Járison C. and MESQUITA, Francisco de O., 2021. Soursop production under supplementary irrigation and mulching in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Online. August 2021. Vol. 25, no. 8, p. 522–528. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p522-528. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662021000800522&tlng=en

DAMAYANTI, Dana, SUHARNO, Suharno and AINURI, Makhmudun, 2024. Productivity Improvement Based on Lean and Green Productivity in Herbal Tea Production Line CV. DM. *agriTECH*. Online. 18 March 2024. Vol. 44, no. 1, p. 80. DOI: 10.22146/agritech.71901. Available from: <https://jurnal.ugm.ac.id/agritech/article/view/71901>

DO, Yen Vy, LE, Quynh Nhu Thi, NGHIA, Nguyen Huu, VU, Ngoc Duc, TRAN, Nhi Thi Yen, BAY, N. T., TRAN, Thi Tuu, BACH, Long Giang and DAO, Tan Phat, 2024. Assessment of the changes in product characteristics, total ascorbic acid, total flavonoid content, total polyphenol content and antioxidant activity of dried soursop fruit tea (*Annona muricata* L.) during product storage. *Food Science & Nutrition*. Online. April 2024. Vol. 12, no. 4, p. 2679–2691. DOI: 10.1002/fsn3.3949. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.3949>

- GARCÍA, Nora M., CELY, Nelcy M. and MÉNDEZ, Paula A., 2024. Study of the Pectinase Production from Soursop and Cherimoya Pulp for Agro-Industrial Waste Reduction in Colombia. *Waste and Biomass Valorization*. Online. 13 November 2024. Vol. 15, no. 11, p. 6357–6365. DOI: 10.1007/s12649-024-02604-2. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-024-02604-2>
- GONZÁLEZ-PEDROZA, María, ARGUETA-FIGUEROA, Liliana, GARCÍA-CONTRERAS, René, JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, Yaiza, MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Eduardo, NAVARRO-MARCHAL, Saúl, MARCHAL, Juan, MORALES-LUCKIE, Raúl and BOULAIZ, Houria, 2021. Silver Nanoparticles from *Annona muricata* Peel and Leaf Extracts as a Potential Potent, Biocompatible and Low Cost Antitumor Tool. *Nanomaterials*. Online. 12 May 2021. Vol. 11, no. 5, p. 1273. DOI: 10.3390/nano11051273. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/5/1273>
- HARTATI, Rika, ROMPIS, Fahrani, PRAMASTYA, Hegar and FIDRIANNY, Irda, 2024. Optimization of antioxidant activity of soursop (*Annona muricata* L.) leaf extract using response surface methodology. *Biomedical Reports*. Online. 9 September 2024. Vol. 21, no. 5, p. 166. DOI: 10.3892/br.2024.1854. Available from: <http://www.spandidos-publications.com/10.3892/br.2024.1854>
- ITO, Yoichiro and QI, Lin, 2010. Centrifugal precipitation chromatography. *Journal of Chromatography B*. Online. January 2010. Vol. 878, no. 2, p. 154–164. DOI: 10.1016/j.jchromb.2009.05.055. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1570023209003912>
- JAUMBOCUS, Warda Bibi, NEERGHEEN, Vidushi S., CHEENEESHASH, Jayrani, YAGNIK, Darshna and RAMFUL-BABOOLALL, Deena, 2024. Novel infusions from underutilized exotic fruits: Sensory analysis and consumer acceptance. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. Online. December 2024. Vol. 38, p. 101014. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.101014. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X24001471>
- JIMÉNEZ-ZURITA, José Orlando, ALIA-TEJACAL, Irñ, BALOIS-MORALES, Rosendo, VILLARREAL-FUENTES, Juan Manuel, NÚÑEZ-COLÍN, Carlos Alberto and BERUMEN-VARELA, Guillermo, 2022. Phenological growth stages of soursop trees (*Annona muricata* L.) based on the extended BBCH-scale. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Online. 1 December 2022. Vol. 29, no. 1, p. 5–18. DOI: 10.5154/r.rchsh.2022.03.006. Available from: <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/?section=articles&subsec=issues&numero=305&articulo=2804>
- LEAL, Fernando Castro, FARIAS, Fabiane Oliveira, DO AMARAL, Wanderlei, TOCI, Aline Theodoro, MAFRA, Marcos R. and IGARASHI-MAFRA, Luciana, 2022. Green Solvents to Value *Annona muricata* L. Leaves as Antioxidants Source: Process Optimization and Potential as a Natural Food Additive. *Waste and Biomass Valorization*. Online. 15 February 2022. Vol. 13, no. 2, p. 1233–1241. DOI: 10.1007/s12649-021-01581-0. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-021-01581-0>
- LÓPEZ-MÁRTIR, Kevin Ulises, ARMANDO ULLOA, José, URÍAS-SILVAS, Judith Esmeralda, ROSAS-ULLOA, Petra, RAMÍREZ-RAMÍREZ, José Carmen and RESENDIZ-VAZQUEZ, Juan Alberto, 2024. Modification of the physicochemical, functional, biochemical and structural properties of a soursop seed (*Annona muricata* L.) protein isolate treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. Online. May 2024. Vol. 105, p. 106870. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2024.106870. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350417724001184>
- MESQUITA, Patricia C., RODRIGUES, Luiz Gustavo G., MAZZUTTI, Simone, DA SILVA, Mayara, VITALI, Luciano and LANZA, Marcelo, 2021. Intensified green-based extraction process as a circular economy approach to recover bioactive compounds from soursop seeds (*Annona muricata* L.). *Food Chemistry: X*. Online. December 2021. Vol. 12, p. 100164. DOI: 10.1016/j.fochx.2021.100164. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157521000523>
- MIRANDA, Kelvi W.E., FROTA, Maryana M., MATTOS, Adriano L.A., ARAÚJO, Antonio Willian O., ALVES JÚNIOR, Francisco T., VASCONCELOS, Luciléia B., BASTOS, Maria do Socorro R. and SOUZA, Tiago M., 2025. Eco-friendly bionanocomposite based on a ternary blend reinforced with bacterial cellulose for application in packaging materials. *Food Packaging and Shelf Life*. Online. March 2025. Vol. 48, p. 101442. DOI: 10.1016/j.fpsl.2025.101442. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214289425000122>
- MIRANDA, Kelvi Wilson Evaristo, SÁ, Gabriel Viana, FROTA, Maryana Melo, DOS SANTOS NETO, João Paixão, DE CARVALHO, Miguel Ângelo Almeida Pinheiro, NUNES, Nuno Miguel Velosa, MACHADO, Mariana Teixeira da Costa, DE SOUZA, Tiago Marcolino, BASTOS, Maria do Socorro Rocha and DE VASCONCELOS, Luciléia Barros, 2026. Valorization of amazonian fruit agro-industrial by-products for sustainable production of bacterial cellulose nanofibers for food bio-packaging. *Polymer Bulletin*. Online. 6 June 2026. Vol. 83, no. 6, p. 290. DOI: 10.1007/s00289-026-06348-y. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00289-026-06348-y>
- NEGLO, David, TETTEY, Clement Okraku, ESSUMAN, Edward Ken, AME-NU, Justice Dziedzorm, MILLS-ROBERTSON, Felix Charles, SEDOHIA, Daniel, BOAKYE, Adjoa Agyemang and ABAYE, Daniel A., 2021. Evaluation of the Modulatory Effect of *Annona muricata* Extracts on the Activity of Some Selected Antibiotics against Biofilm-Forming MRSA. UZOR, Philip F. (ed.), *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Online. 20 December 2021. Vol. 2021, p. 1–9. DOI: 10.1155/2021/9342110. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2021/9342110/>
- OTON, Lais F., RIBEIRO, Paulo R. V., DE BRITO, Edy S. and DE SANTIAGO-AGUIAR, Rílvia S., 2025. Sustainable Extraction of Bioactive Compounds from *Annona muricata* L. Leaves by Deep Eutectic Solvents (DESs). *ACS Omega*. Online. 29 April 2025. Vol. 10, no. 16, p. 16909–16920. DOI: 10.1021/acsomega.5c01232. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.5c01232>
- P S, Vindhya, SURESH, Sandhya and V T, Kavitha, 2025. *Annona muricata* leaf extract mediated synthesis of pure and Co doped TiO₂ nanoparticles: Evaluation of catalytic reduction, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Hydrogen Energy*. Online. February 2025. Vol. 103, p. 766–786. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.01.209. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319925002319>
- PAGE, Matthew J., MCKENZIE, Joanne E., BOSSUYT, Patrick M., BOUTRON, Isabelle, HOFFMANN, Tammy C., MULROW, Cynthia D., SHAMSEER, Larissa, TETZLAFF, Jennifer M., AKL, Elie A., BRENNAN, Sue E., CHOU, Roger, GLANVILLE, Julie, GRIMSHAW, Jeremy M., HRÓBJARTSSON, Asbjörn, LALU, Manoj M., LI, Tianjing, LODER, Elizabeth W., MAYO-WILSON, Evan, MCDONALD, Steve, MCGUINNESS, Luke A., STEWART, Lesley A., THOMAS, James, TRICCO, Andrea C., WELCH, Vivian A., WHITING, Penny, MOHER, David, YEPES-NÚÑEZ, Juan José, URRÚTIA, Gerard, ROMERO-GARCÍA, Marta and ALONSO-FERNÁNDEZ, Sergio, 2021. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*. September 2021. Vol. 74, no. 9, p. 790–799. DOI: 10.1016/j.recesp.2021.06.016.
- PRADO-ACEBO, Inés, CUBERO-CARDOSO, Juan, LU-CHAU, Thelmo A. and EIBES, Gemma, 2024. Integral multi-valorization of agro-industrial wastes: A review. *Waste Management*. Online. June 2024. Vol. 183, p. 42–52. DOI: 10.1016/j.wasman.2024.05.001. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X24002757>
- RAMÍREZ-BALBOA, Gabriel, BALOIS-MORALES, Rosendo, BELLO-LARA, Juan Esteban, BAUTISTA-ROSALES, Pedro Ulises, LEÓN-FERNÁNDEZ, Andrés Eloy, LÓPEZ-GUZMÁN, Graciela Guadalupe, PALOMINO-HERMOSILLO, Yolotzin Apatzingan and LÓPEZ-FLORES, Yilmar Arisai, 2021. Ultrasound-assisted extraction and characterization of the functional properties of starch from soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Acta Scientiarum. Technology*. Online. 26 February 2021. Vol. 43, p. e49052. DOI: 10.4025/actascitechnol.v43i1.49052. Available from: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/49052>
- RUIZ-LÓPEZ, Mario Alberto, VARGAS-GUERRERO, Belinda, VARGAS-RADILLO, J. de Jesús, MONTALVO-GONZÁLEZ, Efigenia, SALCEDO-PÉREZ, Eduardo, RODRIGUEZ-MACIAS, Ramon, GURROLA-DÍAZ, Carmen Magdalena, GARCÍA-LÓPEZ, Pedro Macedonio and PIZANO-ANDRADE, Juan Carlos, 2025. Determination of Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity in Leaf and Pulp of *Annona muricata*. *Chemistry*. Online. 4 February 2025. Vol. 7, no. 1, p. 20. DOI: 10.3390/chemistry7010020. Available from: <https://www.mdpi.com/2624-8549/7/1/20>
- SANTOS, Ivone Lima, RODRIGUES, Antonio Manoel da Cruz, AMANTE, Edna Regina and SILVA, Luiza Helena Meller da, 2023. Soursop (*Annona muricata*) Properties and Perspectives for Integral Valorization. *Foods*. Online. 29 March 2023. Vol. 12, no. 7, p. 1448. DOI: 10.3390/foods12071448. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/7/1448>
- SANTOS-SANTOS, Miguel Ángel De los, BALOIS-MORALES, Rosendo, BELLO-LARA, Juan Esteban, JIMÉNEZ-ZURITA, José Orlando, LÓPEZ-GUZMÁN, Graciela Guadalupe, MONTALVO-GONZÁLEZ, Efigenia, BERUMEN-VARELA, Guillermo, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Carlos Azhael and LEÓN-FERNÁNDEZ, Andrés Eloy, 2026. Presence of Acetogenins in Starches and Pectins Extracted from Soursop (&i&t;Annona muricata&i&t; L.) Fruits. *Phyton*. Online. 2026. Vol. 95, no. 2, p. 1–10. DOI: 10.32604/phyton.2026.076197. Available from: <https://www.techscience.com/phyton/v95n2/66476>

SINGH, K., KUMAR, V., KUKKAR, B., KIM, K.-H. and SHARMA, T. R., 2022. Facile and efficient colorimetric detection of cadmium ions in aqueous systems using green-synthesized gold nanoparticles. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Online. 29 June 2022. Vol. 19, no. 6, p. 4673–4690. DOI: 10.1007/s13762-021-03331-0. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s13762-021-03331-0>

SOSA-CRESPO, Irving, MUGARTE-MOGUEL, Alfonso, CHEL GUERRE-RO, Luis, RODRÍGUEZ-CANTO, Wilbert and BETANCUR-ANCONA, David, 2025. Antidiabetic potential and antioxidant effect of aqueous and ethanolic extracts obtained from soursop (*Annona muricata* L.) seeds and peels. *International Food Research Journal*. Online. 1 February 2025. Vol. 32, no. 1, p. 195–207. DOI: 10.47836/ifrj.32.1.14. Available from: [http://www.ifrj.upm.edu.my/32%20\(01\)%202025/14%20-%20IFRJ24243.R1.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/32%20(01)%202025/14%20-%20IFRJ24243.R1.pdf)

VINDHYA, P. S. and KAVITHA, V. T., 2023. Leaf extract-mediated synthesis of Mn-doped CuO nanoparticles for antimicrobial, antioxidant and photocatalytic applications. *Chemical Papers*. Online. 20 May 2023. Vol. 77, no. 5, p. 2407–2424. DOI: 10.1007/s11696-022-02631-0. Available from:

<https://link.springer.com/10.1007/s11696-022-02631-0>

VINDHYA, P.S. and KAVITHA, V.T., 2023. A comprehensive study on photocatalytic, antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity effects of biosynthesized pure and Ni doped CuO nanoparticles. *Inorganic Chemistry Communications*. Online. April 2023. Vol. 150, p. 110472. DOI: 10.1016/j.inoche.2023.110472. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1387700323000849>

VINOCUNGA-PILLAJO, Reni Danilo, ROMERO-VISTÍN, Aida Salomé, JIMÉNEZ-TAMAYO, Fabiola Maribel, SÁNCHEZ-VALLEJO, Carlos Alfonso, GUARDADO-YORDI, Estela and PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, 2025. Technological route for the agro-industrial development of the province of Pastaza based on the valorization of agricultural, livestock, and forest resources. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Online. 8 April 2025. Vol. 119. DOI: 10.17533/udea.redin.20250879. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/357286>