

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i4.1857>

Compuestos orgánicos en banano (*Musa spp.*) y su relación con el valor nutricional y aplicaciones agroindustriales: revisión bibliográfica

*Organic compounds in banana (*Musa spp.*) and their relationship with nutritional value and agroindustrial applications: a literatura review*

Hector Ramiro Carvajal Romero

hcarvajal@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6303-6295>

Universidad Técnica de Machala
Machala – Ecuador

Helen Gisel Guamán Cueva

hguaman4@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-2460-5682>

Universidad Técnica de Machala
Ecuador – Machala

Maroony Andrey Orellana Castillo

morellana27@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-8018-8975>

Universidad Técnica de Machala
Ecuador – Machala

David Antonio Neira Vega

dneiral@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-7152-8968>

Universidad Técnica de Machala
Ecuador – Machala

Emanuel Enrique Zambrano Prado

ezambrano17@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-1077-1679>

Universidad Técnica de Machala
Ecuador - Machala

Artículo recibido: 10 noviembre 2025 -Aceptado para publicación: 18 diciembre 2025
Conflictos de intereses Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.

RESUMEN

El banano (*Musa spp.*) representa uno de los cultivos frutales más importantes a nivel mundial con una producción anual de 179.26 millones de toneladas, siendo Ecuador responsable del 30% de las exportaciones globales. A pesar de su relevancia económica y nutricional, existe conocimiento fragmentado sobre la caracterización integral de sus compuestos orgánicos y su potencial agroindustrial, además de desafíos ambientales asociados a la generación de residuos

que representan 30-40% del peso total del fruto. El objetivo del presente estudio fue sistematizar el conocimiento científico sobre el perfil de compuestos orgánicos bioactivos en banano y su relación con propiedades nutricionales mediante revisión bibliográfica, para identificar aplicaciones agroindustriales potenciales que agreguen valor a la cadena productiva bananera. Se realizó una revisión bibliográfica narrativa consultando bases de datos científicas especializadas, seleccionando 31 publicaciones relevantes organizadas en tres ejes temáticos: perfil de compuestos orgánicos, valor nutricional y aplicaciones agroindustriales. Los resultados revelaron transformaciones bioquímicas significativas durante la maduración, con conversión de almidón (18 g/100g en verde a 2 g/100g en maduro) a azúcares simples, identificación de 24 compuestos fenólicos mediante LC-ESI-QTOF-MS/MS, y 11 carotenoides con potencial nutracéutico. Se documentó capacidad antioxidante correlacionada con contenido fenólico, actividad antimicrobiana con concentraciones inhibitorias mínimas de 7.5-30 mg/mL, y aplicaciones agroindustriales viables, y compuestos bioactivos para sectores farmacéutico y cosmético, demostrando oportunidades concretas para economía circular y desarrollo de productos de valor agregado en la cadena bananera.

Palabras clave: compuestos bioactivos, valorización agroindustrial, metabolitos secundarios

ABSTRACT

Bananas (*Musa* spp.) represent one of the most important fruit crops worldwide with an annual production of 179.26 million tonnes, with Ecuador accounting for 30% of global exports. Despite their economic and nutritional relevance, there is fragmented knowledge about the comprehensive characterization of their organic compounds and their agroindustrial potential, in addition to environmental challenges associated with waste generation that represents 30-40% of the total fruit weight. The aim of this study was to systematize scientific knowledge about the profile of bioactive organic compounds in bananas and their relationship with nutritional properties through a literature review, to identify potential agroindustrial applications that add value to the banana production chain. A narrative literature review was carried out by consulting specialized scientific databases, selecting 32 relevant publications organized into three thematic areas: organic compound profile, nutritional value and agroindustrial applications. The results revealed significant biochemical transformations during ripening, with starch conversion (18 g/100g when green to 2 g/100g when ripe) to simple sugars, identification of 24 phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS, and 11 carotenoids with nutraceutical potential. Antioxidant capacity correlated with phenolic content was documented, antimicrobial activity with minimum inhibitory concentrations of 7.5-30 mg/mL, and viable agroindustrial applications, and bioactive

compounds for pharmaceutical and cosmetic sectors, demonstrating concrete opportunities for circular economy and development of value-added products in the banana chain.

Keywords: bioactive compounds, agroindustrial valorization, secondary metabolites

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El banano representa uno de los cultivos frutales y alimenticios más importantes a nivel mundial, cultivándose en más de 130 países de regiones tropicales y subtropicales, con una producción anual global que alcanza aproximadamente 179.26 millones de toneladas, ocupando más de 12.67 millones de hectáreas. Este cultivo no estacional produce frutos durante todo el año y constituye un alimento básico fundamental que contribuye a la seguridad alimentaria de cientos de millones de personas en las regiones tropicales y subtropicales del hemisferio sur, siendo Asia el mayor productor con 55.9% de la producción mundial, seguida por África con 24.6% y América con 16.1%. Ecuador se ha posicionado como uno de los mayores exportadores a nivel mundial, siendo responsable de más del 30% de las exportaciones mundiales y el 40% de la producción global, constituyendo un pilar fundamental del desarrollo económico del país al generar empleo especialmente en la región costera y representar el 30% de los ingresos económicos de las exportaciones agrícolas. La importancia nutricional del banano radica en ser una fuente rica de carbohidratos, proteínas, minerales como potasio, calcio, magnesio y manganeso, además de vitaminas A, C y B6, lo que lo convierte en un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria global. (Akech et al., 2024; Cheng et al., 2024; Justine et al., 2022; Veliz et al., 2022)

La composición química del banano presenta una complejidad notable derivada de su trasfondo genético único, siendo la mayoría de variedades cultivadas triploides estériles originadas principalmente por hibridación inter e intraespecífica entre *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B), con contribuciones adicionales de otras especies como *M. schizocarpa*. Esta diversidad genética se relaciona directamente con diferencias importantes en valor nutricional, características organolépticas y aplicaciones industriales. Los estudios recientes revelan que la maduración del fruto, un proceso complejo regulado principalmente por etileno, involucra cambios significativos en fitohormonas y metabolitos como sacarosa, almidón, carotenoides y compuestos relacionados con el sabor, donde factores de transcripción como NAC, MADS-box, MYB y WRKY modulan la expresión de genes relacionados con degradación de pared celular, metabolismo del almidón y biosíntesis de compuestos volátiles, determinando la calidad final del fruto. La caracterización de estos compuestos orgánicos resulta fundamental para comprender no solo el valor nutricional del fruto, sino también las posibilidades de valorización de los subproductos generados durante su procesamiento. (Cheng et al., 2024)

A pesar de la importancia económica y nutricional del banano, la industria enfrenta desafíos significativos relacionados con la generación de residuos y la subutilización de biomasa. Otras partes de la planta como cáscaras, pseudotallo, rizoma y hojas encuentran aplicaciones limitadas en diversas industrias incluyendo agroindustria, alimentaria y textil, aunque poseen un potencial considerable para su valorización. El análisis de ciclo de vida del banano ecuatoriano revela que el manejo del raquis, residuo generado durante la etapa de empaque, constituye un problema

ambiental significativo con emisiones asociadas de 54-99 kg CO₂-equivalente por tonelada dependiendo del año, principalmente debido a su disposición en vertederos abiertos y las emisiones de metano y óxido nitroso durante la descomposición. Esta situación representa simultáneamente un desafío ambiental y una oportunidad para el desarrollo de estrategias de economía circular, donde la valorización de biomasa residual podría incluir la producción de bioetanol, biopolímeros, carbón activado y biocombustibles. (Justine et al., 2022; Veliz et al., 2022)

Las aplicaciones agroindustriales del banano se han expandido más allá del consumo directo, explorándose el uso de subproductos para la producción de biopolímeros, compuestos bioactivos y otros productos de valor agregado, representando una oportunidad para reducir el desperdicio y aumentar la sostenibilidad del cultivo. La biofortificación del banano mediante ingeniería genética ha emergido como una estrategia importante para abordar deficiencias de micronutrientes, particularmente hierro y vitamina A, en poblaciones que dependen del banano como alimento básico, especialmente en África donde contribuye más del 25% de las necesidades de carbohidratos de aproximadamente 70 millones de personas. Adicionalmente, la industria bananera genera una cantidad considerable de residuos orgánicos que pueden ser transformados en productos biodegradables, añadiendo valor y sostenibilidad a la cadena productiva. (Cheng et al., 2024; Chukwu et al., 2025)

No obstante, existe un vacío considerable en el conocimiento sistemático sobre la caracterización integral de los compuestos orgánicos presentes en el banano y sus subproductos, particularmente en relación con su potencial de aplicación agroindustrial. Aunque se han realizado estudios sobre componentes específicos, falta una comprensión holística que vincule la composición química con el valor nutricional y las posibilidades de transformación industrial. Las limitaciones metodológicas de estudios previos incluyen la evaluación de variedades específicas sin considerar la diversidad genética existente y la necesidad de investigación adicional sobre categorías de impacto ambiental relacionadas con el procesamiento y la valorización de residuos. Por tanto, el objetivo del presente estudio es caracterizar de manera integral los compuestos orgánicos presentes en el banano y sus subproductos, estableciendo su relación con el valor nutricional y las aplicaciones agroindustriales potenciales, con particular énfasis en variedades cultivadas en Ecuador. Se plantea como hipótesis que la caracterización detallada de los compuestos orgánicos permitirá identificar oportunidades específicas de valorización que contribuyan simultáneamente a mejorar la sostenibilidad ambiental del sector y a desarrollar productos agroindustriales de valor agregado, beneficiando tanto a productores como a la cadena de valor en su conjunto. (Cheng et al., 2024; Veliz et al., 2022)

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló como una revisión bibliográfica narrativa para sistematizar el conocimiento sobre compuestos orgánicos bioactivos en banano (*Musa spp.*) y sus aplicaciones agroindustriales. La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas especializadas (Google Scholar, Scopus, Web of Science y ScienceDirect) durante el período 2020-2025, utilizando términos clave como "banana compounds", "Musa bioactive", "banana nutritional", "agroindustrial applications" y "banana metabolites", combinados mediante operadores booleanos.

Los criterios de inclusión contemplaron: artículos originales y revisiones publicadas en inglés y español, estudios sobre composición química del banano, análisis nutricionales y aplicaciones industriales. Se excluyeron estudios sobre aspectos agronómicos sin relación con la composición química y publicaciones sin acceso al texto completo. La selección identificó 31 publicaciones relevantes que cumplieron los criterios establecidos.

La extracción de datos se estructuró en tres ejes temáticos: (1) perfil de compuestos orgánicos y variación durante maduración, abarcando metabolitos primarios, secundarios, carotenoides y volátiles; (2) valor nutricional y capacidad funcional, incluyendo análisis nutricionales, actividad antioxidante y propiedades para la salud; y (3) aplicaciones agroindustriales, contemplando industria alimentaria, aprovechamiento de subproductos y usos farmacéuticos-cosméticos.

La información fue sintetizada mediante análisis narrativo, organizándola por categoría temática con el objetivo de identificar patrones, relaciones entre compuestos y propiedades, y oportunidades de valorización agroindustrial de la cadena productiva bananera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se organizan en tres ejes temáticos que sistematizan el conocimiento sobre compuestos orgánicos bioactivos en banano. El primer eje aborda el perfil de compuestos y su variación durante la maduración, analizando metabolitos primarios como carbohidratos y secundarios incluyendo compuestos fenólicos y carotenoides. El segundo evalúa el valor nutricional y capacidad funcional, estableciendo correlaciones entre composición química y propiedades antioxidantes. El tercer eje examina el potencial agroindustrial, identificando oportunidades de valorización en industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética, así como aprovechamiento de subproductos. Esta estructura permite comprender las bases científicas para la innovación y diversificación de la cadena productiva bananera.

Perfil de compuestos orgánicos y su variación durante la maduración

La caracterización de metabolitos primarios en banano (*Musa spp.*) durante la maduración revela transformaciones bioquímicas fundamentales que determinan su valor nutricional y potencial agroindustrial. Los carbohidratos constituyen alrededor del 70-80% de su peso seco,

estos macronutrientes experimentan modificaciones según el estado de madurez en el que se encuentren. El almidón, componente predominante en frutos verdes (~18 g/100g según método enzimático-gravimétrico), sufre degradación enzimática progresiva hasta alcanzar ~2 g/100g en estados avanzados de maduración explicándose por la conversión a azúcares simples mediante la acción coordinada de amilasas, sacarosa sintasa e invertasas. (Phillips et al., 2021)

El perfil de azúcares muestra diferencias significativas, mientras que en frutos verdes predomina el almidón con mínimas concentraciones de glucosa y fructosa (1.5-1.7 g/100g cada uno), en estados maduros estos monosacáridos alcanzan 6 y 7 g/100g respectivamente. En el caso de la sobremaduración, la sacarosa disminuye notablemente y además presenta comportamiento variable (1-4.6 g/100g). La fibra dietética cuantificada por mEG alcanza valores de 18g por cada 100g en frutos verdes, atribuidos principalmente a almidón resistente tipo RS2, decreciendo linealmente hasta 2g por cada 100g en sobremaduración. (Sun et al., 2020)

La caracterización de metabolitos secundarios en banano (*Musa spp.*) revela un perfil diverso de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes significativas que varían según su grado de madurez y condiciones ambientales. Mediante una técnica que combina cromatografía líquida, ionización por electrospray y espectrometría de masas de cuádruplo de tiempo de vuelo (LC-ESI-QTOF-MS/MS) se identificaron 24 compuestos fenólicos en cultivares australianos, clasificados en ácidos fenólicos, flavonoides y otros polifenoles. Entre los ácidos fenólicos predominaron derivados hidroxicinámicos: ácido ferúlico, cafeico y p-cumárico como componentes mayoritarios. Los flavonoides identificados incluyeron antocianinas (delfinidina, cianidina, malvidina), flavonoles (quercetina, miricetina, kaempferol), flavanoles (galocatequina) y flavanonas (neeriocitrina). (Bashmil et al., 2021)

La capacidad antioxidante evaluada mediante DPPH, FRAP y ABTS correlacionó positivamente con contenido fenólico total, evidenciando actividad quelante de iones férricos y capacidad de neutralización de radicales libres. La cáscara concentró mayor contenido fenólico que la pulpa, con ciertas diferencias entre estados de maduración atribuibles a procesos de polimerización de taninos y síntesis de antocianinas durante maduración. El tratamiento poscosecha influyó significativamente en el perfil cualitativo y cuantitativo de los metabolitos secundarios, demostrando la existencia de potencial agroindustrial para el aprovechamiento de subproductos como fuente de antioxidantes naturales en aplicaciones alimentarias, nutracéuticas y farmacéuticas. (Tongkaew et al., 2022)

El análisis multivariante del perfil químico de compuestos fenólicos en cáscara de banano durante la maduración revela patrones diferenciados según cultivar y estado de madurez mediante técnicas quimiométricas avanzadas. La comparación estadística mediante un análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas ($p < 0.001$) en contenidos fenólicos totales entre estados de maduración: cáscaras verdes presentaron concentraciones 3-66 veces superiores respecto a cáscaras maduras (cultivares no-dessert verde: 1.48 ± 0.44 mg/g versus maduro:

0.26±0.13 mg/g; cultivares dessert verde: 0.97±0.12 mg/g versus maduro: 0.19±0.06 mg/g). El cultivar Pahang del subgrupo Malaccensis exhibió el máximo contenido fenólico total en estado verde (2.08 mg/g), destacando por concentraciones excepcionales de ácido quínico (177 mg/100g peso seco) y ácido clorogénico (72.6 µg/g). (Zhang et al., 2022)

El análisis discriminante entre subgrupos taxonómicos evidenció que bananos no-dessert (Malaccensis y Mutika-Lujugira) concentraron significativamente mayores niveles de compuestos fenólicos que cultivares dessert (Cavendish). Estos hallazgos permiten estratificar cultivares según potencial agroindustrial para extracción selectiva de compuestos bioactivos, identificando la cáscara verde de banano silvestre como matriz óptima para valorización de residuos agrícolas mediante obtención de antioxidantes naturales. (Wei et al., 2025)

La caracterización de carotenoides en banano durante el desarrollo del fruto revela patrones dinámicos de acumulación vinculados a redes génicas específicas mediante análisis metabolómico-transcriptómico integrado. Se identificaron 11 compuestos carotenoides mediante LC-MS/MS: α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno, luteína, violaxantina, anteraxantina, neoxantina, β -criptoxantina, α -criptoxantina, β -apocarotenal y (E/Z)-fitoeno. La mayoría exhibieron niveles indetectables o mínimos en fruto joven, incrementándose sustancialmente en estados verde-maduro y maduro ($p<0.05$), excepto violaxantina que mostró patrón inverso, disminuyendo progresivamente durante el desarrollo. (Dong et al., 2022)

El enriquecimiento en vías KEGG (Enciclopedia especializada en genes y genoma de Kioto) evidenció que biosíntesis de carotenoides alcanzó significancia estadística ($p=3.5\times 10^{-3}$) comparando fruto joven versus verde-maduro, confirmando que síntesis carotenoidea ocurre predominantemente en fases media-tardía del desarrollo frutal, proporcionando bases moleculares para mejoramiento genético dirigido a incrementar contenido carotenoideo. (Oyeyinka & Afolayan, 2019; S & John, 2025)

Evaluación del valor nutricional y capacidad funcional

Una caracterización multidimensional evidenció que la diversidad genotípica y condiciones agroecológicas en Vietnam genera perfiles nutricionales distintivos, posicionando cultivares como Ta Qua para productos energéticos ricos en carbohidratos, Cha Bot para aplicaciones funcionales por su potencial antioxidante, y Hot para fortificación carotenoide en matrices alimentarias. En este estudio además se revela variabilidad significativa en composición proximal, propiedades fisicoquímicas y compuestos bioactivos diferenciados para aplicaciones alimentarias específicas. El perfil de compuestos bioactivos reveló contenidos fenólicos totales (0.73-11.48 mgGAE/gPS), flavonoides (0.12-0.40 mgQE/gPS), ácido ascórbico (0.12-0.81 mg/100gPS) y carotenoides (8.63-157.17 mg/100gPS). Cha Bot demostró concentraciones elevadas de fenoles y flavonoides correlacionadas con capacidad antioxidante robusta, mientras Hot presentó contenido carotenoideo excepcional (157.17 mg/100gPS). El análisis de componentes principales explicó 82.4% de varianza total mediante siete componentes, revelando

correlaciones positivas entre humedad, acidez titulable y actividad antioxidante, y entre flavonoides, fenoles totales y ácido ascórbico (vitamina C). (de Oliveira et al., 2024; Vu et al., 2025)

De modo que, la evaluación de capacidad antioxidante y actividad biológica de banano con sus subproductos revelan propiedades funcionales significativas derivadas de compuestos bioactivos, los cuales pueden tener aplicabilidad en prevención de enfermedades crónicas y desarrollo de alimentos funcionales. El análisis de actividad antioxidante demostró variabilidad en dependencia del estado de madurez. Bananos maduros (pulpa) exhibieron mayor capacidad antioxidante (incremento 5%) que verdes, mientras que la cáscara madura mostró actividades superiores atribuible a contenidos fenólicos elevados (0.90-3.0 g/100g peso seco) y carotenoides (300-400 µg/100g). (Kumari et al., 2023; Waraczewski & Sołowiej, 2024)

La actividad antimicrobiana contra patógenos bacterianos gram-positivos y gram-negativos (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*) evidenció concentraciones inhibitorias mínimas (MIC) de 7.5-30 mg/mL para extractos foliares, con eficacia dependiente de polaridad del solvente extractor. Extractos etanólicos de cáscara generaron zonas de inhibición máximas (15.43 mm *E. coli*, 13.21 mm *S. cerevisiae*) mediante sonicación, atribuidas al componente 2-metil-5-(1-metiletil)fenol. La actividad anticancerígena contra líneas celulares MCF-7, HeLa y HepG2 mostró citotoxicidad concentración-dependiente, con extracto hexánico exhibiendo inhibición máxima (61.21-62.04%) mediada por inducción apoptótica y modulación del ciclo celular. Estas propiedades farmacológicas correlacionaron positivamente con contenidos de ácidos fenólicos (ferúlico, gálico, clorogénico), flavonoides (quercetina, kaempferol) y catequinas, estableciendo fundamento científico para valorización integral de banano como fuente de nutraceuticos bioactivos aplicables en industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. (Ferrari, 2023; Munhoz et al., 2024)

El análisis de correlaciones en el estudio de Borges et al. (2020) reveló patrones fundamentales sobre la interrelación entre compuestos bioactivos y propiedades nutricionales en genotipos de *Musa spp.* Se identificaron relaciones específicas entre metabolitos secundarios y actividad antioxidante. Los compuestos fenólicos totales mostraron correlaciones significativas con la capacidad antioxidante, y no presentaron correlación significativa con el contenido mineral. Entre los flavonoides, la catequina y quercetina exhibieron las mayores correlaciones con actividad antioxidante, identificándolos como principales contribuyentes a las propiedades funcionales. Estos hallazgos sistematizan el conocimiento sobre perfiles bioactivos específicos de *Musa spp.*, identificando genotipos diferenciados que posibilitan aplicaciones agroindustriales dirigidas según la funcionalidad deseada, agregando valor a través de la selección estratégica de materiales para biofortificación o desarrollo de ingredientes funcionales en la cadena productiva bananera. (Kumari et al., 2023; Singh et al., 2020)

El estudio sobre compuestos fenólicos en banano durante la maduración reveló importantes propiedades funcionales vinculadas a la salud humana; la cantidad de ácido fenólico total mostró una disminución inicial durante la maduración temprana, seguida de un incremento exponencial en los días 17 a 21, es decir en etapas finales, correlacionándose positivamente con las actividades antioxidante y, consecuentemente, antiradical. El análisis LC-MS/MS identificó ocho compuestos fenólicos clave: kaempferol y naringenina estuvieron presentes en todas las etapas de maduración, mientras que el ácido clorogénico emergió como marcador específico de maduración, detectándose únicamente en frutos maduros. Los estudios de predicción molecular identificaron enzimas carbónico anhidrasas humanas tipo II y XII (hCA-II y hCA-XII) como blancos terapéuticos prometedores para estos fitoquímicos, de modo que el análisis de acoplamiento molecular demostró que todos los compuestos fenólicos exhibieron energías de unión favorables superiores o similares a las sulfonamidas comerciales, formando coordinaciones metálicas con el átomo de zinc del sitio activo enzimático. Dado que las enzimas hCA están implicadas en edema, obesidad, hipertensión y cáncer, estos hallazgos posicionan al banano como fuente potencial de inhibidores enzimáticos naturales. (Ambujakshan & Baskaran, 2025; Kritsi et al., 2023)

Potencial para aplicaciones agroindustriales

Con respecto a las aplicaciones en la industria alimentaria, se evidenció que el uso de harinas de banano de las variedades Pisang awak y Red dacca tiene aplicaciones prácticas en la industria de panificación a través del desarrollo de galletas fortificadas. La formulación óptima identificada fue 70% harina de trigo y 30% harina de banano, las propiedades funcionales de este subproducto son relevantes para aplicaciones tecnológicas, así pues, la capacidad de retención de agua varió entre 2.43-2.90 g agua/g harina, mientras la capacidad de retención de aceite alcanzó 1.16-1.45 g aceite/g harina. Red dacca mostró valores superiores en ambos parámetros, atribuibles a su mayor contenido proteico y de fibra. Estas propiedades influyen directamente en características texturales del producto final, mejorando humectabilidad y vida útil. Tras la incorporación de harina de banano el contenido proteico aumentó de 9.22% a 10.73%, mientras los carbohidratos se mantuvieron entre 66.21-68.96%. Las galletas con Red dacca retuvieron mayor contenido fenólico total (3.99 mg GAE/g versus 1.10 mg GAE/g en Awak) y actividad antioxidante ABTS (56.80 mg TE/g versus 37.92 mg TE/g), demostrando estabilidad parcial de compuestos bioactivos tras exposición a temperaturas altas y que su adición al mercado alimentario reduce pérdidas poscosecha al generar ingredientes funcionales que agregan valor nutricional y tecnológico a productos convencionales. (Amarasinghe et al., 2021; Nansamba et al., 2020)

La cáscara de banano, representando aproximadamente 30-40% del peso total del fruto, constituye el principal subproducto de la industria bananera con potencial significativo de valorización. Este material descartado posee composición nutricional destacable: fibra dietética total 40-50%, proteína cruda 6-9%, carbohidratos 68.31 g/100g, y minerales esenciales como

potasio (78.1 mg/100g) y manganeso (76.2 mg/100g). La caracterización fitoquímica reveló contenido fenólico total de 7.4%, aminoácidos 86.71%, y ácidos grasos poliinsaturados superiores al 40%, principalmente ácido α -linolénico y linoleico. Las aplicaciones agroindustriales desarrolladas incluyen fideos amarillos enriquecidos con harina de cáscara reduciendo hidrólisis de almidón, gelatinas con mejora en dureza y masticabilidad, yogurt probiótico con mayor viscosidad y actividad antidiabética, pasta fortificada aumentando fibra 35.7-71.4%, y galletas funcionales con niveles minerales superiores excepto zinc. Estos desarrollos demuestran viabilidad técnica para transformar residuos bananeros en ingredientes funcionales, reduciendo desperdicio mientras generan productos con valor nutricional agregado para diversas categorías alimentarias. (Kwok et al., 2025; Wani & Dhanya, 2025)

Los compuestos bioactivos del banano, como se ha mencionado previamente, demuestra aplicaciones significativas en sectores farmacéuticos y cosméticos mediante propiedades terapéuticas validadas científicamente. La actividad antioxidante del banano, atribuida principalmente a dopamina, norepinefrina, compuestos fenólicos y vitamina C, exhibe capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno mediante diversos mecanismos incluyendo blanqueamiento de β -caroteno, actividad secuestradora de radicales, evidenciando potencial preventivo contra enfermedades degenerativas, cardiovasculares y cáncer al poseer propiedades antiinflamatorias que se fundamentan en la supresión de citocinas inflamatorias (IL-6, IL-1 β , TNF- α) y reducción de factores de transcripción NF-Kb demostradas en modelos animales. El extracto metanólico de cáscara de *Musa sapientum* mostró incremento en proliferación celular mucosa, síntesis de ADN, y elevación de niveles de hidroxiprolina, hexosamina y ácido hexurónico, confirmando eficacia en cicatrización de heridas con reducción simultánea de peroxidación lipídica y formación de cicatrices. (Li et al., 2025; Lopes et al., 2020)

La actividad anticancerígena se asocia con alto contenido de ácido tánico al inhibir células tumorales, mientras las saponinas de cáscara inducen muerte celular programada, apoptosis, específicamente en líneas cancerosas. Extractos de flor de banano demostraron propiedades anticancerígenas in vitro, particularmente contra adenocarcinoma colorrectal humano (línea HT-29). Estudios en Universidad de Tokio comparando múltiples frutas identificaron al banano como potenciador de inmunidad. (Afzal et al., 2022; Munir et al., 2024)

CONCLUSIONES

La sistematización del conocimiento científico sobre compuestos orgánicos bioactivos en banano ha revelado oportunidades transformadoras para la cadena productiva bananera que trascienden su valoración tradicional como simple alimento básico. La evidencia compilada demuestra que este cultivo, pilar económico de Ecuador con el 30% de las exportaciones mundiales, posee un potencial agroindustrial subutilizado que demanda atención inmediata. La caracterización detallada de metabolitos primarios y secundarios, con transformaciones

bioquímicas cuantificables durante la maduración y perfiles fitoquímicos que incluyen 24 compuestos fenólicos y 11 carotenoides identificados, establece fundamentos científicos sólidos para diversificar aplicaciones industriales.

La correlación documentada entre composición química y propiedades funcionales; capacidad antioxidante, actividad antimicrobiana y potencial anticancerígeno, valida el desarrollo de productos nutracéuticos, farmacéuticos y cosméticos basados en banano. Particularmente relevante resulta la valorización de subproductos: la cáscara, que representa 30-40% del peso frutal y actualmente constituye pasivo ambiental con emisiones de 54-99 kg CO₂-eq/tonelada, puede transformarse en ingredientes funcionales para múltiples categorías alimentarias, demostrando viabilidad técnica y económica. Esta transición hacia economía circular no representa simplemente una posibilidad teórica sino una necesidad estratégica para incrementar competitividad sectorial, reducir impacto ambiental y generar productos de valor agregado. La implementación de estas aplicaciones agroindustriales identificadas permitiría a Ecuador consolidar liderazgo no solo en volumen exportado sino en innovación y sostenibilidad, beneficiando productores, industria y consumidores mediante aprovechamiento integral de este recurso agrícola estratégico.

REFERENCIAS

- Afzal, M. F., Khalid, W., Akram, S., Khalid, M. A., Zubair, M., Kauser, S., Abdelsamea Mohamedahmed, K., Aziz, A., & Anusha Siddiqui, S. (2022). Bioactive profile and functional food applications of banana in food sectors and health: a review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 2286–2300. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2130940>
- Akech, V., Bengtsson, T., Ortiz, R., Swennen, R., Uwimana, B., Ferreira, C. F., Amah, D., Amorim, E. P., Blisset, E., Van den Houwe, I., Arinaitwe, I. K., Nice, L., Bwesigye, P., Tanksley, S., Uma, S., Suthanthiram, B., Saraswathi, M. S., Mduma, H., & Brown, A. (2024). Genetic diversity and population structure in banana (*Musa* spp.) breeding germplasm. *The Plant Genome*, 17(3). <https://doi.org/10.1002/tpg2.20497>
- Amarasinghe, N. K., Wickramasinghe, I., Wijesekara, I., Thilakarathna, G., & Deyalage, S. T. (2021). Functional, Physicochemical, and Antioxidant Properties of Flour and Cookies from Two Different Banana Varieties (*Musa acuminata* cv. Pisang awak and *Musa acuminata* cv. Red dacca). *International Journal of Food Science*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/6681687>
- Ambujakshan, A., & Baskaran, R. (2025). Insoluble and soluble dietary fiber from banana (*Musa* spp. Grand naine) flower and bract as potential functional ingredients: In vitro studies on functional, adsorption and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 495, 146334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146334>
- Bashmil, Y. M., Ali, A., BK, A., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2021). Screening and Characterization of Phenolic Compounds from Australian Grown Bananas and Their Antioxidant Capacity. *Antioxidants*, 10(10), 1521. <https://doi.org/10.3390/antiox10101521>
- Cheng, C., Wu, S., Deng, G., Sheng, O., Yi, G., & Yang, Q. (2024). Recent advances and future directions in banana molecular biology and breeding. *Molecular Horticulture*, 4(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s43897-024-00122-2>
- Chukwu, S. C., Awala, S. K., Angombe, S., Valombola, J. S., Nanhapo, P. I., Mberama, C., Rafii, M. Y., Oladosu, Y., Thomas, B., Okporie, E. O., & Musa, I. (2025). Recent progress in tissue culture techniques and biotechnological innovations for banana production (*Musa* spp.): a review. *Discover Plants*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00099-2>
- de Oliveira, V. S., do Nascimento, R. M., Cuambe, S. L., Rosa, V. H. C., Saldanha, T., Barbosa Júnior, J. L., & Barbosa, M. I. M. J. (2024). Green banana biomass (*Musa* spp.): A promising natural ingredient to improve technological and nutritional properties of food products. *Food Bioscience*, 60, 104342. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104342>

- Dong, C., Wang, J., Hu, Y., Xiao, W., Hu, H., & Xie, J. (2022). Analyses of key gene networks controlling carotenoid metabolism in Xiangfen 1 banana. *BMC Plant Biology*, 22(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03415-6>
- Ferrari, C. K. B. (2023). Antioxidant and anti-atherosclerotic potential of Banana (*Musa* spp): A review of biological mechanisms for prevention and protection against atherosclerosis. En *Avicenna Journal of Phytomedicine* (Vol. 13, Número 3, pp. 240–254). Mashhad University of Medical Sciences. <https://doi.org/10.22038/AJP.2022.20616>
- Justine, A. K., Kaur, N., Savita, & Pati, P. K. (2022). Biotechnological interventions in banana: current knowledge and future prospects. *Heliyon*, 8(11), e11636. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11636>
- Kritsi, E., Tsiaka, T., Sotiroudis, G., Mouka, E., Aouant, K., Ladika, G., Zoumpoulakis, P., Cavouras, D., & Sinanoglou, V. J. (2023). Potential Health Benefits of Banana Phenolic Content during Ripening by Implementing Analytical and In Silico Techniques. *Life*, 13(2), 332. <https://doi.org/10.3390/life13020332>
- Kumari, P., Gaur, S. S., & Tiwari, R. K. (2023). Banana and its by-products: A comprehensive review on its nutritional composition and pharmacological benefits. *eFood*, 4(5). <https://doi.org/10.1002/efd2.110>
- Kwok, J. J. N., Chen, M. K., Ong, C. W., & Chen, L. (2025). Antidiabetic Potential of Bananas (*Musa* spp.): A Systematic Review of Bioactive Compounds and Antihyperglycemic Activities. En *Current Nutrition Reports* (Vol. 14, Número 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00629-0>
- Li, Y., Huang, W., Gao, H., Yi, G., & Yan, S. (2025). Regulation of starch metabolism in banana fruit: Mechanisms shaping the nutritional quality. *Current Opinion in Plant Biology*, 84, 102698. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2025.102698>
- Lopes, S., Borges, C. V., de Sousa Cardoso, S. M., de Almeida Pereira da Rocha, M. F., & Maraschin, M. (2020). Banana (*Musa* spp) as a Source of Bioactive Compounds for Health Promotion. En *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and Nutrition* (pp. 227–244). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119528265.ch12>
- Munhoz, T., Vargas, J., Teixeira, L., Staver, C., & Dita, M. (2024). Fusarium Tropical Race 4 in Latin America and the Caribbean: status and global research advances towards disease management. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397617>
- Munir, H., Alam, H., Nadeem, M. T., Almalki, R. S., Arshad, M. S., & Suleria, H. A. R. (2024). Green banana resistant starch: A promising potential as functional ingredient against certain maladies. *Food Science & Nutrition*, 12(6), 3787–3805. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4063>

- Nansamba, M., Sibiya, J., Tumuhimbise, R., Karamura, D., Kubiriba, J., & Karamura, E. (2020). Breeding banana (*Musa* spp.) for drought tolerance: A review. *Plant Breeding*, 139(4), 685–696. <https://doi.org/10.1111/pbr.12812>
- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. (2019). Comparative Evaluation of the Nutritive, Mineral, and Antinutritive Composition of *Musa sinensis* L. (Banana) and *Musa paradisiaca* L. (Plantain) Fruit Compartments. *Plants*, 8(12), 598. <https://doi.org/10.3390/plants8120598>
- Phillips, K. M., McGinty, R. C., Couture, G., Pehrsson, P. R., McKillop, K., & Fukagawa, N. K. (2021). Dietary fiber, starch, and sugars in bananas at different stages of ripeness in the retail market. *PLOS ONE*, 16(7), e0253366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253366>
- S, G. K., & John, J. A. (2025). Banana by-products as an emerging and sustainable source of bioactive compounds — insights and applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06891-0>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>
- Sun, F., Chen, H., Chen, D., Tan, H., Huang, Y., & Cozzolino, D. (2020). Lipidomic Changes in Banana (*Musa cavendish*) during Ripening and Comparison of Extraction by Folch and Bligh–Dyer Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(40), 11309–11316. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04236>
- Tongkaew, P., Tohrman, A., Bungaramphai, R., Mitrpant, C., & Aydin, E. (2022). Kluai Hin (*Musa sapientum* Linn.) peel as a source of functional polyphenols identified by HPLC-ESI-QTOF-MS and its potential antidiabetic function. *Scientific Reports*, 12(1), 4145. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08008-3>
- Veliz, K., Chico-Santamarta, L., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Ecuadorian Export Banana: A Life Cycle Assessment. *Foods*, 11(20), 3288. <https://doi.org/10.3390/foods11203288>
- Vu, N. D., Hang, N. T. T. N., Mi, K. D. Q., Anh, N. H. T., & Pham, B. A. (2025). Exploring the nutritional composition, physicochemical properties, and biological characteristics of mature banana varieties (Musaceae). *Food Chemistry: X*, 28, 102594. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102594>
- Wani, K. M., & Dhanya, M. (2025). Unlocking the potential of banana peel bioactives: extraction methods, benefits, and industrial applications. *Discover Food*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00276-y>
- Waraczewski, R., & Sołowiej, B. G. (2024). Potential Valorization of Banana Production Waste in Developing Countries: Bio-Engineering Aspects. *Fibers*, 12(9), 72. <https://doi.org/10.3390/fib12090072>

- Wei, J., Liu, G., Sun, M., Wang, H., Yang, P., Cheng, S., Huang, L., Wei, S., & Liu, D. (2025). Comprehensive analysis of morphology, transcriptomics, and metabolomics of banana (*Musa spp.*) molecular mechanisms related to plant height. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1509193>
- Zhang, J., Wang, Y., Yang, B., Li, Y., Liu, L., Zhou, W., & Zheng, S.-J. (2022). Profiling of Phenolic Compounds of Fruit Peels of Different Ecotype Bananas Derived from Domestic and Imported Cultivars with Different Maturity. *Horticulturae*, 8(1), 70. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010070>