



CDTA

Centro de Desarrollo Tecnológico Agroindustrial

ISBN: 978-958-722-950-9

VIGILANCIA EN LA CADENA AGROINDUSTRIAL DEL PLÁTANO: Una estrategia para la agregación de valor

EL CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL CDTA,
es un proyecto financiado con recursos del
Sistema General de Regalías y Universidad Tecnológica de Pereira UTP

Ejecutado por:

Universidad Tecnológica de Pereira

Estamos ubicados en: Carrera 27 #10-02 Barrio Álamos, Edificio 15 B
Correo electrónico: cdta@utp.edu.co
Pereira - Risaralda - Colombia



AUTORES

Johanna Andrea Serna Jiménez

PhD. Biociencias y Ciencias Agroalimentarias
Directora Científica CDTA

Juan Felipe Grisales Mejía

PhD. Ciencia y Tecnología de los Alimentos
Jefe de Área CDTA

Juan Pablo Castañeda Niño

Mg. Ingeniería de Materiales
Asesor experto proyecto plátano CDTA

Mateo Arenas Aguirre

Mg. Desarrollo de Productos Bióticos
Investigador base proyecto plátano CDTA

Pablo Alejandro Peláez Marín

Mg. Desarrollo Agroindustrial
Director General CDTA



CONTENIDO

1.	Introducción: Importancia de la cadena agroindustrial del plátano	Pág 4	4.1.3	Productos instantáneos	Pág 33
2.	Vigilancias de la cadena agroindustrial del plátano en Colombia	Pág 7	4.2	Productos no alimentarios	Pág 36
2.1	Vigilancia Científica/Tecnológica	Pág 8	5.	Procesamiento (Tecnologías)	Pág 37
2.2	Vigilancia Legal/Normativa	Pág 10	5.1	Tradicionales	Pág 38
2.3	Vigilancia Comercial	Pág 11	5.1.1	Pelado	Pág 38
3.	Generalidades del plátano	Pág 14	5.1.2	Secado	Pág 38
3.1	Composición físico-química	Pág 15	5.1.3	Molienda	Pág 38
3.1.1	Racimo	Pág 15	5.1.4	Tamizado	Pág 39
3.1.2	Pseudotallo	Pág 17	5.1.5	Precocción	Pág 39
3.1.3	Raquis	Pág 19	5.1.6	Extrusión	Pág 40
3.1.4	Bellota	Pág 20	5.1.7	Frituras	Pág 40
3.1.5	Hojas	Pág 21	5.2	Emergentes	Pág 41
3.2	Composición según variedades	Pág 21	5.2.1	Secado	Pág 41
3.3	Propiedades funcionales	Pág 23	5.2.2	Fritura al vacío	Pág 41
3.3.1	Pulpa	Pág 23	6.	Aprovechamiento de coproductos	Pág 42
3.3.2	Cáscara	Pág 23	6.1	Alimentación	Pág 43
3.3.3	Pseudotallo	Pág 24	6.2	Materiales biobasados	Pág 44
3.3.4	Bellota	Pág 25	6.3	Biocomponentes	Pág 44
4.	Potencial agroindustrial del plátano	Pág 26	6.4	Bioetanol	Pág 45
4.1	Alimentarios	Pág 27	6.5	Biogás	Pág 45
4.1.1	Productos de horneado	Pág 27	6.6	Biofertilizantes	Pág 45
4.1.2	Productos de fritura	Pág 31	6.7	Fermentación	Pág 46
			6.8	Pirólisis y combustión	Pág 46

1. Introducción



Centro de Desarrollo Tecnológico Agroindustrial

Importancia de la cadena agroindustrial del plátano

El plátano es cultivado extensamente en diversas regiones de Colombia, garantizando una oferta constante a lo largo de todo el año. Este fruto ocupa un lugar fundamental en la dieta nacional, por lo que la mayoría de su producción se destina al consumo interno y a la industria alimentaria local.

De la transformación del plátano se obtiene diversidad de productos, desde snacks salados o dulces hasta harina de plátano, utilizada en la elaboración de una amplia gama de alimentos.

Una parte de la producción fresca se exporta a mercados internacionales como los de Estados Unidos y Europa. Durante el período comprendido entre 2018 y 2022, la

oferta de plátano en los mercados superó las 30.000 toneladas mensuales, siendo la variedad hartón verde la más predominante, representando más del 95 % del suministro anual (DANE, 2023).

La cadena agroindustrial del plátano en Colombia proyecta un futuro prometedor, según las estimaciones del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Para el año 2025, se espera que esta cadena alcance niveles sin precedentes de productividad y competitividad. Con un rendimiento previsto de 12 toneladas por hectárea y una reducción del 10 % en los costos de producción, se vislumbra un horizonte de estabilidad y crecimiento sostenido.

Además, se anticipa una estabilización del área sembrada en 750.000 hectáreas y un aumento significativo en la participación en los mercados internacionales, con un 12 % de la producción destinada a la exportación (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

El impacto socio económico de la cadena agroindustrial del plátano es innegable, especialmente en lo que respecta a la generación de empleo. El subsector productor de plátano en Colombia es responsable de proporcionar 960.000 empleos directos e indirectos, contribuyendo significativamente al sustento de numerosas familias en las zonas rurales del país (Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Según la FAO, en 2018 Colombia tuvo un alto rendimiento en la producción de plátanos (7 ton/ha), ubicándose como el quinto mayor productor y el cuarto en exportaciones a

nivel mundial, representando el 8 % del total. Esta posición competitiva involucra una competencia directa con países como Estados Unidos, Venezuela y naciones africanas como Ghana. Para el año 2020, las exportaciones colombianas de plátano experimentaron un notable crecimiento del 36,9 %, pasando de 104.632 toneladas en 2019 a 143.291 toneladas. Esto indica un aumento en la demanda y la confianza en la calidad del producto colombiano en los mercados internacionales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).





**2. Vigilancia de la cadena
agroindustrial del plátano en Colombia**

2.1 Vigilancia científica / tecnológica

El plátano verde, una variedad del popular fruto originario de las regiones tropicales de América, es reconocido por su versatilidad culinaria y sus beneficios para la salud. Es empleado en diversas preparaciones culinarias, destacándose por su contenido nutricional y sus propiedades beneficiosas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

El plátano verde es una excelente fuente de carbohidratos complejos, lo que lo convierte en una opción ideal para mantener niveles de energía estables. Además, es rico en fibra dietética, lo que favorece la salud digestiva y ayuda a regular el tránsito intestinal. Ahora bien, la investigación y el desarrollo de productos están influenciados por el enfoque de las tendencias emergentes en la ciencia y la tecnología.

La revisión tecnológica y científica permite mantener al tanto del panorama mundial, lo que puede guiar la dirección futura de los proyectos relacionados con la cadena del plátano.

La base de datos Scopus ofrece un listado de los diez países destacados en la publicación de investigaciones científicas, utilizando criterios de búsqueda que engloban una amplia gama de publicaciones relacionadas con temas como la pasta sin gluten, la harina de plátano libre de gluten y los alimentos funcionales, resaltando a Italia seguido de México, con una producción para el periodo 2013-2023 de 14 y 12 artículos respectivamente.

Otros países relevantes incluyen a Argentina, India, Suecia y Brasil (gráfico 1).

Gráfico 1. Publicaciones relacionadas con la cadena del plátano en el periodo 2013-2023

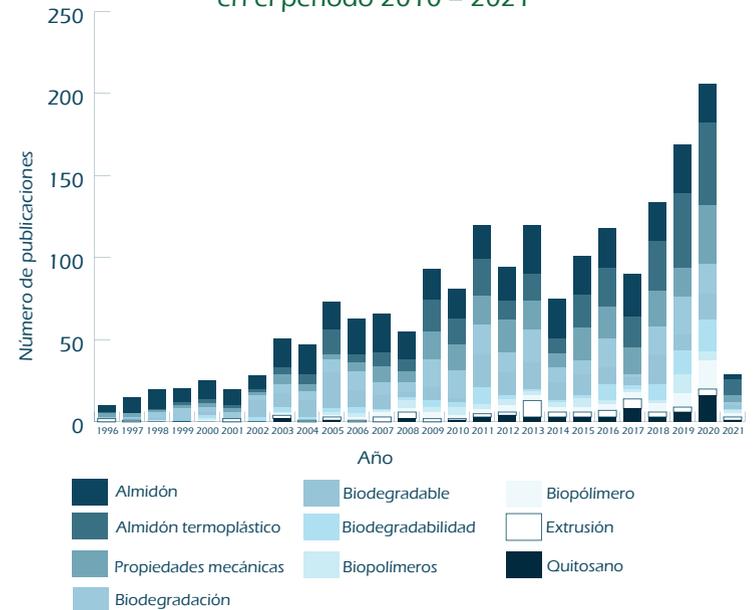


Fuente: Consulta base de datos Scopus, 2023
Elaboración CDTA

La evolución de registros según tecnología y año muestra un interés creciente a través del tiempo por las tecnologías relacionadas con almidón (starch), y con almidón termoplástico, cuya importancia en la investigación presenta el mayor número de registros entre 2018 y 2020. En cuanto a la tecnología asociada a las propiedades mecánicas (Mechanical properties) es relevante a partir de 2011 y hasta el 2020, con registros constantes anuales en este periodo. Otras tecnologías

cuya relevancia es creciente en el periodo 2018-2020, son las relacionadas con biodegradación, biodegradabilidad y materiales biodegradables y biopolímeros. En el gráfico 2 se muestra la evolución de estos registros.

Gráfico 2. Temas de Investigación para plátano en el periodo 2010 – 2021



Fuente: Consulta a la Base de Datos Web of Science y Reporte tecnológico Derwent Data Analyzer, 2021.
Elaboración CDTA

2.2 Vigilancia legal / normativa

En esta sección se encuentra una recopilación actualizada de la normatividad vigente para la cadena productiva del plátano, tanto para fruto en fresco, y productos transformados. A continuación, se presentan las abreviaturas de las principales normativas y guías consultadas.

1. NTC 2799: Se establecen los requisitos que debe cumplir y los ensayos a los cuales se debe someter la harina de plátano.

2. RESOLUCIÓN 0002013 DE 2020: Tiene por objeto definir los contenidos máximos de sodio de alimentos procesados priorizados en el marco de la Estrategia Nacional de Reducción del Consumo de Sodio, con el fin de contribuir a la reducción de la hipertensión arterial y

de las enfermedades no transmisibles asociadas a esta, con el objetivo legítimo de proteger la salud de la población.

3. NTC 1291: FRUTAS Y HORTALIZAS. GENERALIDADES, se establece la terminología, requisitos y sistemas de clasificación de frutas y hortalizas destinadas al consumo fresco en estado fresco.

4. NTC 1190: PLÁTANOS. CLASIFICACIÓN, se establecen los requisitos que deben cumplir los plátanos destinados a ser consumidos frescos.

5. RESOLUCIÓN 4393 DE 1991: Se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979, Título V, en lo referente a fabricación, empaque y comercialización de Pastas Alimenticias.

6. NTC 1055: Se establecen los requisitos y los ensayos que deben cumplir las pastas alimenticias secas. Esta norma no cubre las pastas alimenticias frescas ni las estabilizadas por métodos diferentes al de secado, por su diferencia en requisitos, producción y tiempo de vida útil.

7. NTC 282: INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. HARINA DE TRIGO. MÉTODOS DE ENSAYO, se establecen los métodos de ensayo para valorar las características de la harina de trigo.

8. RESOLUCIÓN 1407 DE 2022: Se establecen los criterios microbiológicos que deben cumplir los alimentos y bebidas destinados para consumo humano.

9. RESOLUCIÓN 005109 DE 2005: Requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y

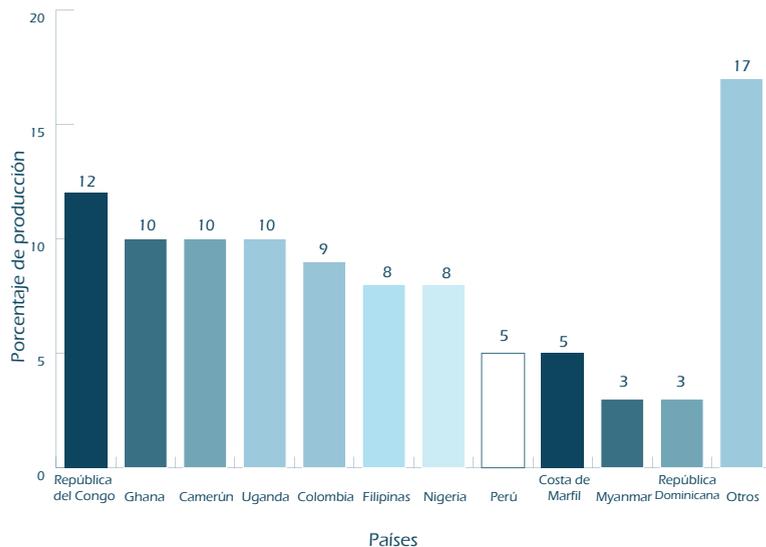
materias primas de alimentos para consumo humano.

10. NTC 440: Establece los métodos de ensayo para determinar las características de los productos alimenticios.

2.3 Vigilancia comercial

En el mercado internacional, Colombia se destaca como el quinto productor mundial de plátano (como se observa en la gráfico 3), con una presencia significativa en América después de países como Ecuador y Costa Rica. En el año 2019, el país exportó alrededor de 230.000 toneladas de plátano, siendo los departamentos de Chocó y Antioquia los principales responsables de esta producción destinada al mercado exterior (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

Gráfico 3. Producción mundial del plátano



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020.
Elaboración CDTA

Estados Unidos emerge como el principal destino de las exportaciones colombianas de plátano, absorbiendo el 41 % del total exportado en 2020 hasta julio, con 32.190 toneladas enviadas. No obstante, se observa un fenómeno interesante en el mercado español, donde se registró un notable aumento del 205 % en las

importaciones de plátano colombiano durante el mismo período, indicando una creciente demanda en este mercado europeo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

A nivel nacional, el departamento de Arauca sigue siendo el principal productor de plátano en Colombia, contribuyendo con el 19 % de la producción total del país en 2019, con alrededor de 43.000 hectáreas dedicadas al cultivo de plátano y un rendimiento promedio de 20 toneladas por hectárea.

Por otro lado, Chocó y Antioquia también desempeñan un papel crucial en la producción de plátano para el consumo interno, sumándose a la oferta nacional y contribuyendo a satisfacer la demanda del mercado local (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

En términos de tendencias del mercado, se observa un crecimiento sostenido en la demanda tanto a nivel nacional como internacional. El plátano, reconocido por su versatilidad culinaria y sus cualidades nutricionales, continúa siendo una opción popular en la dieta.

Esta demanda se ve respaldada por la creciente conciencia sobre los beneficios para la salud del plátano y su amplia aplicación. Además, se aprecia una tendencia hacia la diversificación de productos derivados del plátano, como harinas, pastas y biopelículas lo que amplía aún más su presencia en el mercado y su potencial de crecimiento futuro (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).



3. Generalidades del plátano



El cultivo de plátano dispone de una importante biomasa constituida por el racimo como producto principal y otros subproductos, encontrando el pseudotallo, el raquis, la bellota y las hojas, suministrando diferentes macromoléculas de interés agroindustrial como almidón, fibras lignocelulósicas y pectina, considerando diferentes rendimientos para su extracción y posterior aprovechamiento para la generación de valor agregado según la variedad empleada y las condiciones agroclimáticas del cultivo. De igual forma, la importancia del plátano se amplía en la existencia de propiedades funcionales en algunos de sus subproductos como la cáscara proveniente del racimo y la savia.

3.1 Composición fisico-química de componentes de la planta de plátano

Cada uno de los subproductos resultantes del plátano

poseen agua y materia seca. En la materia seca se encuentran diferentes subproductos y macromoléculas que pueden procesarse para el desarrollo de nuevos productos como harinas, almidones, fibras lignocelulósicas, proteína, pectina y savia.

3.1.1 Racimo

Es el producto principal del cultivo, siendo cosechado entre el mes 18 al 20 después de iniciar la floración, presentando una maduración fisiológica, consistiendo en la obtención del mayor desarrollo posible del tamaño de los dedos, manifestando un color verde en su superficie.



Pulpa

Su participación en el racimo fluctúa entre el 54 y el 64 %, logrando una mayor proporción con respecto a la cáscara a medida que avanza el tiempo (Chavez-Salazar et al., 2017; Montoya et al., 2014).

El contenido de humedad de la pulpa fresca se ha identificado entre el 74 y el 76 %, mientras que la materia seca se encuentra entre el 18 y el 45 % (Dufour et al., 2009b), siendo esta última representada como harina, conteniendo todos los componentes nutricionales retirando el mayor contenido posible de agua.

Otros componentes que se pueden encontrar en la pulpa es el almidón, con concentraciones entre el 17 % y el 19 % base húmeda (b.h) y entre el 76 % y el 86 % base seca (b.s.) (Ramírez-Cortes et al., 2016), su presentación consiste en

gránulos alargados en forma de bastones con un contenido de amilosa entre 20 % y el 40 % (Giraldo Toro et al., 2015; Nasrin et al., 2015), caracterizándose por ser almidón resistente al contener un valor superior al 20 % (Castañeda-Niño et al., 2021). Otra macromolécula de interés es la proteína, ya que contiene valores entre el 4 % y el 7 % (Nasrin et al., 2015).



Cáscara

La presencia de la cáscara en el racimo se va reduciendo a medida que avanza el estado de madurez hasta lograr una participación del 36 % (Montoya et al., 2014). En la madurez fisiológica, se puede obtener una humedad entre el 94 y el 97 %, mientras que su materia seca se encuentra entre el 3 y el 6 %, siendo representada en la cantidad de harina obtenida.

El contenido de almidón y su pureza es inferior con respecto a lo identificado en la pulpa, reportando valores en base húmeda entre 3,3 y el 9,5 %, mientras que en base seca se encuentra entre el 45 al 50 %. También se encuentra proteína (6 al 10 %), lípidos (2 al 6 %), savia, pectina (5 al 13 %) y fibras lignocelulósicas (33 al 43 %) (Agama-Acevedo et al., 2016; Hernández-Carmona et al., 2017).



3.1.2 Pseudotallo

Este subproducto puede contribuir en el 80 % del total de la biomasa que aporta la planta madre de plátano (Gañán et al., 2008; Gómez et al., 2022; Mora et al., 2018), conteniendo principalmente agua entre el 93 y el 96 %, mientras que el contenido de materia seca se encuentra entre el 4y el 7 % (Balakrishnan et al., 2021; Danso, 2021;

Moreira et al., 2023). El pseudotallo se conforma por tejidos superpuestos en cuatro etapas, encontrando las calcetas externas ($\approx 41\%$), seguido de las calcetas intermedias ($\approx 27\%$), las calcetas inferiores ($\approx 21\%$) y la coraza ($\approx 11\%$), estableciendo una estructura compleja que permite soportar racimos con pesos hasta de 50 Kg. Se recomienda realizar la cosecha del pseudotallo en el mismo momento en que se cosecha el racimo, considerando su procesamiento en el menor tiempo posible para evitar el desarrollo de la descomposición de sus tejidos (Castañeda-Niño et al., 2021).



Calcetas

Son tejidos alargados en formas curvas, conteniendo fibras lignocelulósicas largas hasta del 2,2 % con respecto al peso de las calcetas frescas (Castañeda-Niño, Mina-Hernandez, & Solanilla Duque, 2024). Su composición se basa en celulosa (31,27 al 69,09 %), hemicelulosa (10 al 28 %) y lignina (5 al 30 %) (Adeniyi et al., 2019; Cadena Ch et al., 2017; Mohanty et al., 2005; Mohit & Arul Mozhi Selvan, 2018; Mukhopadhyay & Fangueiro, 2009; Sango et al., 2018; Venegas et al., 2022), su diámetro puede variar entre 50 a 250 μm (Jayaprabha et al., 2011) y su longitud se encuentra entre 2,5 y 3,5 m (Müssig, 2010). Otra de las propiedades que se pueden determinar en las fibras lignocelulósicas son las resultantes del ensayo de tensión, reportando una resistencia máxima a la tensión de 232,4 a 246,0 MPa, un módulo de elasticidad de 9,35 GPa y una deformación en

el punto de rotura del 4,0 % (Castañeda-Niño, Mina-Hernandez, & Solanilla Duque, 2024), siendo superior a lo evidenciado en las fibras de coco e inferior a lo reportado en las fibras de algodón (Castañeda-Niño et al., 2021).

También se encuentra la savia disuelta en agua, sin embargo, al concentrarla por evaporación, se pueden obtener rendimientos entre el 1,7 y el 2,6 % con respecto al peso fresco de las calcetas. Algunas de las propiedades identificadas en la savia concentrada consisten en su carácter higroscópico y adhesivo. De igual forma, se ha reportado la presencia de almidón, siendo la calceta, el subproducto con el menor rendimiento con respecto a lo evidenciado en la pulpa, cáscara y coraza de plátano (Castañeda-Niño, Mina-Hernandez, & Solanilla Duque, 2024).

Coraza

Posee una geometría cilíndrica, con su sabor levemente dulce y presenta un color entre blanco a gris. Es proveedora de harina, con aporte de fibras lignocelulósicas, almidón y pectina. Las fibras llegan a poseer longitudes y diámetros menores con respecto a lo otorgado por las fibras provenientes de las calcetas. De igual forma, su almidón posee menor pureza con respecto a lo manifestado en la pulpa, presenta una variación de colores entre blanco a gris (Aziz et al., 2011; Jain et al., 1956; Mohd Ali et al., 2021).

3.1.3 Raquis

Es un tejido con alto contenido de fibras lignocelulósicas, permitiendo soportar el peso del racimo. El rendimiento de extracción de sus fibras se encuentra en valores cercanos a 23 % (Gómez et al., 2023), constituidas por un

71,1 % de celulosa, 12,6 % de hemicelulosa y 7,7 % de lignina, presentando una densidad de $1,3 \text{ g/cm}^3$ un ángulo microfibrilar de 11° , un diámetro de $138 \mu\text{m}$, una resistencia máxima a la tensión de $412,5 \text{ MPa}$ y una deformación en el punto de rotura del 27,9 % (Sánchez-Morales et al., 2024).



3.1.4 Bellota

También puede ser llamada como flor, siendo empleada para el desarrollo de productos alimenticios a partir del considerable aporte proteico, ya que aporta un valor aproximado del 21 % (Sebastián & Arenas, 2016).



3.1.5 Hojas

La hoja contiene fibras lignocelulósicas y almidón. En el caso del almidón, se encuentra la menor concentración con respecto a los demás subproductos del plátano.



3.2 Composición según variedades

Al definir el desarrollo de un producto transformado a partir del empleo de harina y/o almidón proveniente de

la pulpa y/o la cáscara proveniente del racimo de plátano, se debe identificar las diferentes características y propiedades físicas, fisicoquímicas y reológicas (ver tabla 1). En el caso de las harinas, es relevante identificar el contenido de almidón, encontrando valores por encima del 78,3 % (b.s.) en las harinas de pulpa de plátano, mientras que en las harinas de la cáscara se presentan valores entre el 45 y el 50 % (b.s.). En las harinas de plátano se encuentra mayor concentración de almidón con respecto a otro tipo de musáceas como los bananos (ver tabla 1). En el caso de los almidones, se debe identificar el contenido de amilosa, tamaño de granulo, contenido de almidón resistente, temperaturas onset* que es la temperatura en la que los almidones empiezan a absorber agua e incrementar la viscosidad de la solución, temperatura de gelatinización y la viscosidad máxima al gelatinizar los gránulos del almidón.

Tabla 1. Propiedades físicas, fisicoquímicas y reológicas

Musácea	Plátano				Plátano híbrido	Banano
Variedad	Dominico hartón	Dominico	Hartón	Macho	FHIA	Gros Michel
Contenido almidón (%)	78,3 a 85,5	85,3 a 86,9	85,2			74,9
Amilosa (%)	23,4 a 33,9	23,8	23,2		17,9 a 26,9	14,0 a 17,2
Tamaño de gránulo (um)	20 a 65			15 a 25		10 a 20
Almidón resistente (%)	90,0					83,9
Temperatura onset* (°C)	67,7	67,8	67,2		66,9	63,2
Temperatura de gelatinización (°C)	74,3 a 77,4	76,4	75,7	79	72,2	68,7 a 73,5
Viscosidad máxima (cP)	1842 - 2060	1653	1904	2300	2416	1664

Fuente: Chavez-Salazar et al., 2017; Dufour et al., 2009a; Gibert et al., 2009; Martínez-Cardozo et al., 2016; Quintero-Castaño et al., 2020.

3.3 Propiedades funcionales

A parte del aporte nutricional que puede contribuir los diferentes subproductos del plátano, se ha identificado propiedades antioxidantes y bioactivas que pueden contribuir a fortalecer y proteger la salud del consumidor a partir de alimentos tradicionales con la incorporación de alguno de los subproductos del plátano y a través de alimentos libres de gluten a base de plátano.

3.3.1 Pulpa

La harina resultante posee gránulos de almidón resistente, catecolaminas, compuestos fenólicos, terpenoides, flavonoides y carotenoides (Agama-Acevedo et al., 2016; Kumar et al., 2023; Pereira & Maraschin, 2015).

Estos compuestos bioactivos identificados en la pulpa,

poseen propiedades antidiarreicas, anti-ulcerativo, hipoglucemiante, antioxidante, analgésico, antidiabético, anticonvulsivo y antiinflamatorio (Rotimi & Adeyemi, 2023).

En el caso de la presencia de los almidones resistentes, se puede desarrollar productos que pueden generar un bajo índice glicémico, permitiendo prevenir y cuidar a las personas de la diabetes (Kumar et al., 2023).

3.3.2 Cáscara

Siendo un subproducto con bajo interés comercial, actualmente se ha estado destinando para la elaboración de compost y alimentación animal (Agama-Acevedo et al., 2016), presenta diferentes moléculas bioactivas que contribuyen a la salud del posible consumidor de un producto a base de la cáscara de plátano, encontrando

compuestos antioxidantes como los polifenoles (15,2 mg/g) y taninos condensados, siendo su contenido superior con respecto a lo identificado en la pulpa.

De igual forma, al avanzar el proceso de maduración del plátano y su cáscara cambia de color (verde a amarillo), se siguen incrementando el contenido de los compuestos fenólicos (especialmente flavonoides, 9,4 mg/1 g) (Arun et al., 2015; Bello-Pérez et al., 2024).

3.3.3 Pseudotallo

Otro componente de interés que se encuentra principalmente en las calcetas del pseudotallo, es la savia de plátano, siendo un líquido de color marrón polvoso de alta disponibilidad, representándose en el 90 % de humedad contenida en el pseudotallo, ya que se puede obtener 1.500 a 20.000 L de savia en una hectárea de

plátano, mientras que en su composición se pueden encontrar proteína, carbohidratos y fibras (Gupta et al., 2019), como también compuestos a base de taninos, fenoles y componentes aromáticos (Barahapurkar et al., 2020; Gupta et al., 2022).

La savia puede ser un líquido estable a un intervalo amplio de pH, logrando un aspecto incoloro en un pH ácido mientras que el color marrón se mantiene en un pH alcalino (Basak et al., 2016a, 2016b).

Actualmente, la savia identificada en el pseudotallo de plátano se ha empleado para la elaboración de bebidas funcionales con propiedades antioxidantes que pueden tratar síntomas de enfermedades como gripa, tos, diabetes, cáncer, VIH, entre otros (Mathew & Negi, 2017; Saravanan & Aradhya, 2011).

3.3.4 Bellota

Posee fitoquímicos, vitaminas y flavonoides que poseen propiedades antioxidantes que previenen los radicales libres y controlan posibles daños en las células y tejidos. Se ha utilizado para prevenir y contrarrestar algunas enfermedades como el cáncer cervical y la diabetes. De igual forma, posee actividad antimicrobiana con la capacidad de eliminar microorganismos como

Staphylococcus aureus, *Proteus mirabilis*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella Spp*, entre otros, siendo útil para curar infecciones y enfermedades, ya que, contiene glicósidos, taninos, saponinas, fenoles, esteroides y flavonoides (Vélez - Arenas, 2018).





4. Potencial agroindustrial del Plátano

Nuestro país posee varias regiones importantes enfocadas en la producción primaria de plátano (Urabá, Eje Cafetero y los Llanos Orientales), siendo proveedoras de materia prima con el potencial fisicoquímico y bioactivo para el desarrollo de nuevos productos transformados que puedan suplir las necesidades de los consumidores de alimentos en términos nutricionales y funcionales, generar valor agregado en la producción primaria y el sector de la transformación. De igual forma, dichas materias primas se pueden aprovechar para la elaboración de productos no alimentarios como el desarrollo de tejidos y empaques a partir de nuevos materiales (Ferreiro et al., 2023; Minagricultura, 2016).

4.1 Alimentarios

La materia prima a base de plátano puede contribuir en el desarrollo de nuevos productos transformados a partir

de diferentes operaciones unitarias (horneo, fritura y extrusión) que permiten generar diferentes propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales.

4.1.1 Productos de horneo

A partir del empleo de un horno, se pueden realizar diferentes productos de:

- Panadería
- Galletería
- Tortas
- Repostería

En estas preparaciones se consideran mezclas de harina de plátano con harina de trigo para la elaboración de productos tradicionales o la elaboración de productos libres de gluten.

Pan

La elaboración de pan tradicional requiere de varias materias primas, considerando el empleo de harina de trigo, mantequilla (5 a 15 %), levadura (1 a 1,5 %), azúcar (3,7 a 5 %), sal (0,5 a 2 %), agua (1 ó 1,5 veces más en peso), huevo (2 a 7,5 %) y/o leche descremada (1 a 7,5 %).

En el caso de incorporar harina de plátano para obtener un pan compuesto, se puede emplear un contenido hasta del 30 % de la base de harina, contribuyendo en un incremento de minerales sin tener considerables variaciones en las propiedades al compararlo con un pan 100 % de harina de trigo (Adeniji & Adeniji, n.d.; Ajala et al., 2018; Mepba et al., 2007; Olaoye et al., 2006; Sarawong et al., 2014; Shittu et al., 2014).

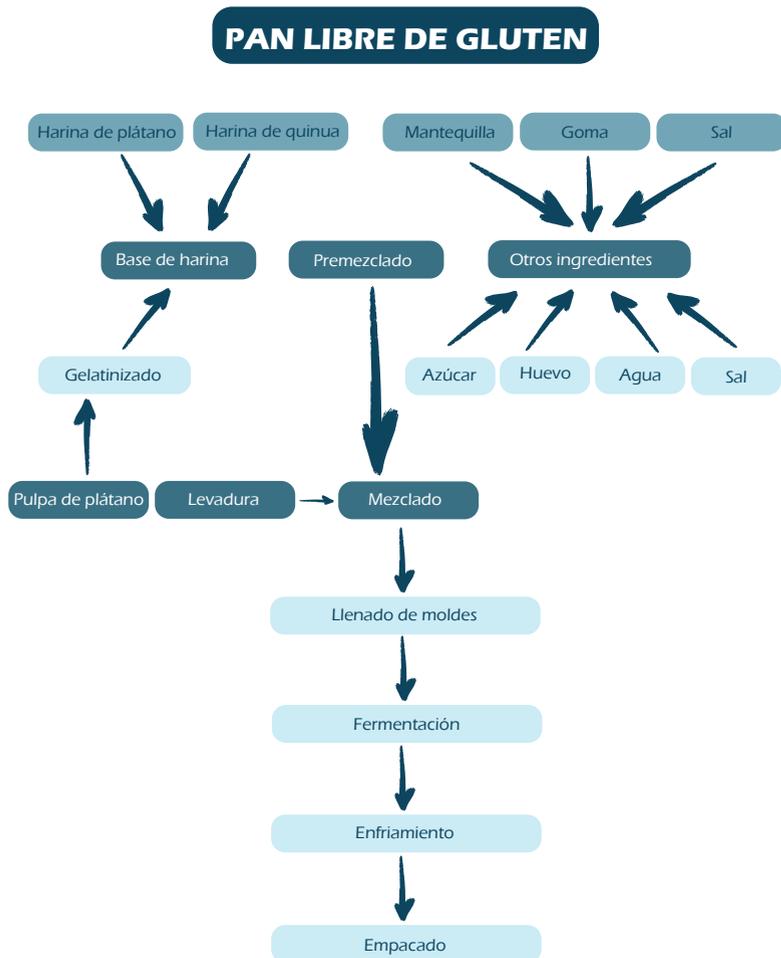
En el caso de elaborar un pan libre de gluten a base de

plátano (ver figura 1), se requiere del empleo de la mezcla con la harina de un pseudocereal (quinua o amaranto) en una participación entre el 5 y el 30 % con respecto a la base de harina.

De igual forma, se requiere de un hidrocoloide natural como las gomas xanthan y guar y/o hidrocoloides sintéticos como la carboximetil celulosa (CMC) o el hidroxipropil metilcelulosa (HPMC), considerando una participación entre el 0,1 y el 2 %.

El tiempo y la temperatura de fermentación deben encontrarse entre 1 a 2 horas y 25 a 29 °C, respectivamente. Mientras que la temperatura de horneado puede encontrarse entre 180 y 250 °C durante 30 a 90 minutos (Alvarez-Jubete et al., 2010; Gutiérrez, 2018; Lazaridou et al., 2007).

Figura 1. Elaboración de pan libre de gluten



Fuente: CDTA, 2024

Galleta

Se puede emplear mezclas de trigo-plátano o harinas libre de gluten para conformar la base de harina. En el caso de emplear harinas libres de gluten, se puede emplear la harina de plátano y una harina con un aporte considerable de proteína, encontrando alternativas a través de los pseudocereales, empleando concentraciones de la primera harina entre el 10 y el 90 %.

En cuanto a los ingredientes complementarios, se puede emplear contenidos de mantequilla entre el 15 y el 30 %, polvo de hornear entre el 0,5 y el 1,1 %, edulcorantes convencionales entre el 20 y el 50 % (azúcar y/o miel), edulcorante opcional como la estevia hasta del 2 %, sal entre el 0,89 y el 1 %, huevo entre el 10 y el 25 % y agua entre el 12 y el 25 %.

De igual forma, hay otros ingredientes que se pueden emplear como vainilla, chocolate, jengibre, canela y frutas deshidratadas para otorgar sabor.

La temperatura de horneado puede establecerse entre 160 y 180 °C con un tiempo entre 10 y 15 minutos (Akubor et al., 2004; Arun et al., 2015; Chinma et al., 2012; García-Solís et al., 2018; Mepba et al., 2007).

Torta

De igual forma, en la elaboración de la torta se debe considerar una base de harina constituida por harina de trigo o harina de un pseudocereal (0 a 90 %) y la harina de plátano (10 al 100 %).

En cuanto a los ingredientes complementarios, se puede utilizar mantequilla con contenidos entre el 30 y el 90 %,

considerando que al emplear mayor concentración se genera mayor suavidad de la torta, mientras que el azúcar se puede encontrar entre el 50 y el 100 %.

La adición del polvo de hornear puede ser entre el 0,75 y el 1,7 %, la sal entre el 10 y el 22,5 %, el agua entre el 38,3 y el 80 %, leche en polvo hasta el 2 %, huevo entre el 88 y el 130 %.

Otra alternativa para otorgar sabor es el empleo de licores como vino y brandy (15 mL por cada 600 g de base de harina) y la cocoa en un 20 %.

Considerando los anteriores ingredientes, algunas propiedades de la torta pueden acentuarse en la medida que se incrementen sus concentraciones, identificando un aumento de dureza al incrementar el contenido de la

base de harina y huevos, la suavidad de la textura y superficie la pueden otorgar los edulcorantes, aceite, mantequilla o margarina, mientras que una estructura seca la puede generar la incorporación de almidones, cocoa en polvo o sólidos de la leche y para generar una estructura con mayor humectación, se requiere del aumento del agua, huevos frescos o un edulcorante líquido (Adegunwa et al., 2019; Adeniji & Empere, 2001; Kiin-Kabari & And Eke-Ejiofor, 2013; Onwuka & Onwuka, 2005).

Este producto al requerir de un contenido considerable de edulcorantes, se podría emplear plátano maduro como alternativa para reducir el índice glicémico al consumir la torta, ya que el plátano al poseer un avance en su maduración (ripenning), se incrementa el contenido de azúcares.

4.1.2 Productos de fritura

A partir del empleo del aceite, una freidora por baño de aceite o de aire caliente (air fryer), se puede realizar una variedad de productos alimentarios que presentan un mercado establecido como las empanadas, doughnuts, tacos, buñuelos, etc., sin embargo, se ha estado empleando harinas de trigo y maíz para su elaboración.

Los subproductos del plátano pueden ser incorporados en la fritura para el desarrollo de nuevos productos, encontrando las pulpas verde y madura y/o sus respectivas harinas (Nguimbou et al., 2021).

A continuación, se mencionan algunas características para el procesamiento de los siguientes productos transformados a base de plátano empleando la fritura.

Doughnut

Se puede elaborar a partir de una base de harina compuesta, considerando la mezcla de la harina de plátano maduro, harina de plátano verde y harina de un pseudocereal en una proporción del 65 % en las harinas de plátano y 35 % de la harina complementaria (pseudocereal, maíz o trigo).

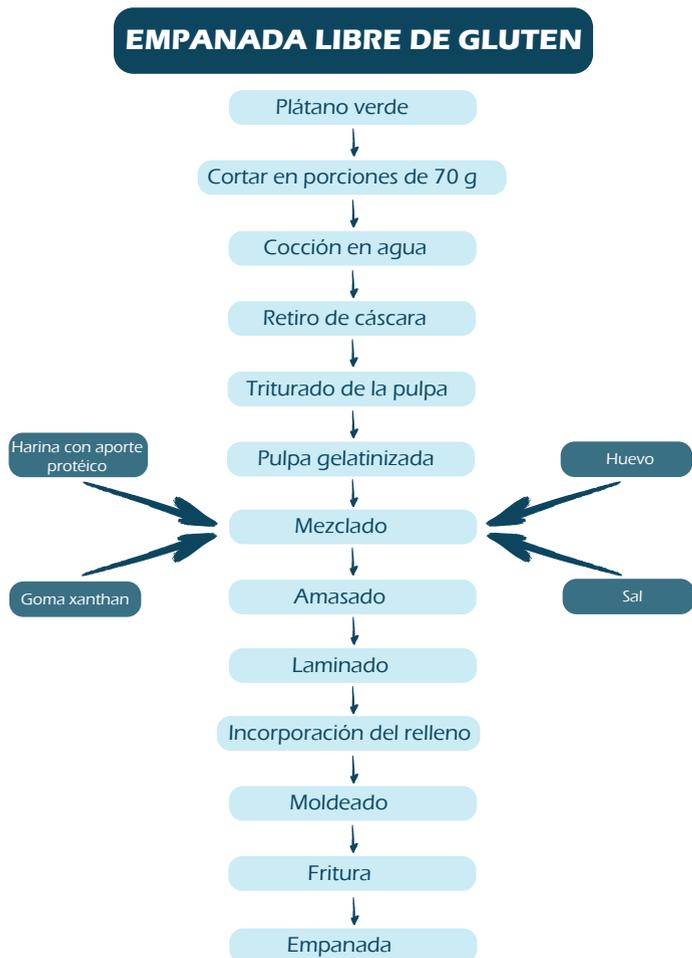
Otros ingredientes a emplear son levadura (0,5 %), sal (0,3 %) y agua (60 a 65 %). Si se requiere aumentar la textura de la masa, se puede incrementar el contenido de trigo hasta el 13,5 % o emplear goma xanthan, guar, CMC o HPMC en un 1,5 % máximo.

La fermentación debe establecerse a 25 °C durante 90 minutos y su freído (150 °C) debe durar aproximadamente 5 minutos (Nguimbou et al., 2021).

Empanada

Se pueden obtener empanadas dulces (pulpa madura) o saladas (pulpa verde) dependiendo de la pulpa de plátano a emplear, iniciando con la cocción de la pulpa durante 25 minutos, seguido de su maceración mediante el empleo de un mortero o de una procesadora de alimentos. La pulpa resultante puede ser mezclada con harina de plátano verde (30 % con respecto al peso de la pulpa cocinada). En el caso de utilizar una pulpa verde, se puede adicionar sal hasta en un 1,5 %. Si se requiere aumentar la textura se puede emplear un hidrocoloide en una concentración máxima el 1,5 %. Al poseer una masa homogénea, se puede dar la forma deseada a través de la compresión, llenado con queso, dulce de frutas, carne, y moldeo de la empanada para posteriormente someterla al freído. La elaboración de la empanada libre de gluten, se puede ver en la figura 2.

Figura 2. Elaboración de empanada libre de gluten



Fuente: CDTA, 2024

4.1.3 Productos instantáneos

En este segmento de alimentos se pueden obtener sopas, bebidas y pastas instantáneas a base de una materia prima con un aporte importante de almidón, encontrando las harinas y almidones de la pulpa, cáscara y coraza de plátano, incluyendo la posibilidad de emplear la savia y torta de la cáscara de plátano adecuadamente preparada para otorgar una propiedad función con el propósito de proteger la salud del consumidor (Bhatt & Gupta, 2023; Cui et al., 2024; Luckow et al., 2024; Mathew & Negi, 2017; Saravanan & Aradhya, 2011).

Las harinas y/o almidones de plátano previamente empleadas en las formulaciones de productos instantáneos deben someterse a una pregelatinización mediante el empleo de una marmita o extrusora, seguido del conjunto de operaciones unitarias constituidas por el

secado, molienda y tamizado (Fan et al., 2023; Giraldo-Gómez et al., 2019; Yadav et al., 2024).

Sopas instantáneas

La base de este producto consiste en almidón resistente de plátano, siendo mezclado con carne y vegetales (repollo, tomate, zanahoria, espinaca, champiñones, etc.).

Otros ingredientes que se deben considerar en su composición son: sal (3,2 a 5,3 g/100 mL de agua), azúcar o sacarosa (2 a 6,8 g/ 100 mL de agua) y glutamato de sodio (menor a 4,5 g /100 mL de agua).

Todos sus ingredientes deben pasar por el proceso de liofilización, siendo un proceso costoso, eliminando el agua por sublimación, generando su deshidratación con un mínimo de pérdidas nutricionales y sensoriales (color

y sabor) y facilitando la rehidratación en corto tiempo mediante la mezcla con agua caliente a una relación de 1,5:1, respectivamente (Luckow et al., 2024; Wang et al., 2010).

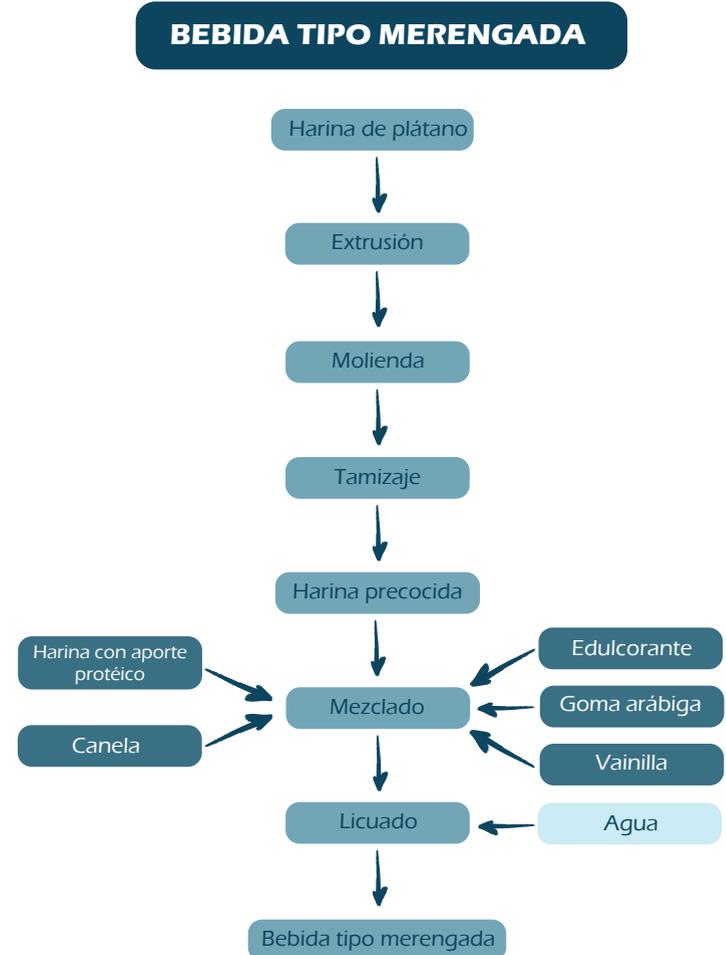
Bebidas tipo merengada

Se puede emplear la harina de plátano verde y/o maduro en diferentes estados: nativo, extruido y fermentado (Ayub et al., 2021; Obilana et al., 2018). En el caso del empleo de la extrusión, se obtienen harinas instantáneas que reducen el tiempo de preparación, ya que, los gránulos de almidón se gelatinizan provenientes de la harina de plátano. De igual forma, se puede complementar las anteriores harinas con otras fuentes botánicas diferentes para otorgar un aumento en el aporte proteico mediante el empleo de los pseudocereales y cereales como el maíz o la avena (Ayub

et al., 2021; Eadmusik et al., 2024). En este tipo de bebidas se puede incorporar azúcar (sacarosa) entre el 8 y el 10 % (Eadmusik et al., 2024), sin embargo, el empleo de la harina del plátano maduro al poseer un mayor contenido de azúcares (Castañeda-Niño et al., 2021), se puede reducir la dependencia del empleo del azúcar.

Otros ingredientes que se pueden contemplar son: gomas arábica, xanthan, entre otros (0,1 al 1 %), para otorgar estabilidad de la bebida, impidiendo la separación de fase en corto plazo (Silva et al., 2018), mantequilla (< 2 %), vainilla y canela para contribuir en el sabor. Los anteriores sólidos se someten por varias operaciones unitarias, iniciando con el mezclado de ingredientes sólidos, mezclado o batido e incorporación de agua. La elaboración de bebidas tipo merengada, se puede ver en la figura 3.

Figura 3. Elaboración de bebida tipo merengada



Fuente: CDTA, 2024

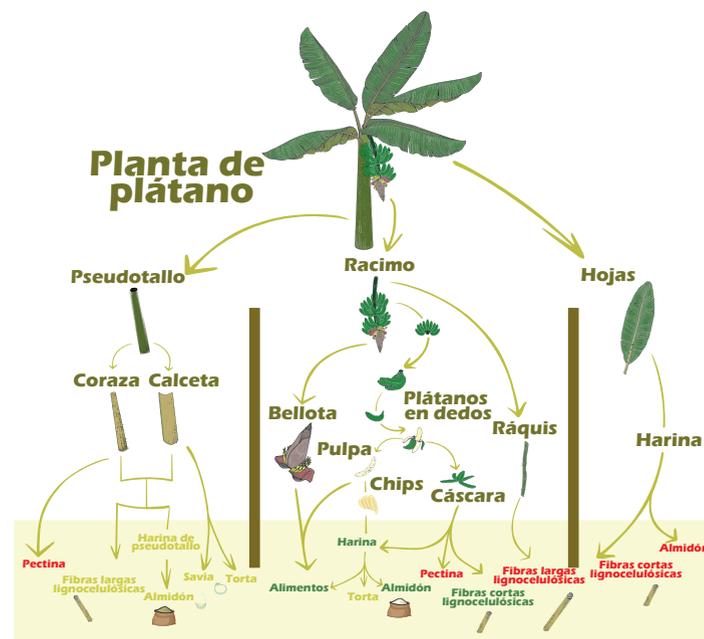
4.2 Productos no alimentarios

Considerando la presencia de almidones en la corza del pseudotallo, la pulpa y la cáscara proveniente del racimo de plátano y fibras lignocelulósicas presentes en las cáscaras del racimo, calcetas y corza del pseudotallo, se pueden elaborar almidón termoplástico y materiales compuestos biobasados (Castañeda-Niño et al., 2021).

Otra aplicación que se puede realizar a partir de las dos materias primas previamente mencionadas consiste en la elaboración de papeles y cartones, mientras que las fibras largas provenientes de las calcetas y la corza, se pueden elaborar hilos, cuerdas, tejidos y empaques. A través de procesos fermentativos, se puede obtener etanol, biometano y compostaje (Serna-Jiménez et al., 2023).

En la figura 4, se observa un resumen de los posibles aprovechamientos de la cadena productiva del plátano.

Figura 4. Potencial agroindustrial del plátano y aprovechamiento de residuos



Bioeconomía de la planta de plátano



Fuente: CDTA, 2024



5. Procesamiento (tecnologías)

5.1 Tradicionales

5.1.1 Pelado

La operación de pelado del plátano es crucial para su procesamiento eficiente. A menudo, esta tarea se realiza manualmente por trabajadores especializados, aunque en entornos industriales se emplean máquinas equipadas con cuchillas y rodillos diseñados para pelar los plátanos de manera rápida y eficiente. Sin embargo, es fundamental realizar una inspección posterior para garantizar que los plátanos estén completamente pelados, seguida de un enjuague para eliminar cualquier residuo residual.

5.1.2 Secado

Operación unitaria de conservación empleada ampliamente, destacada por su asequibilidad y las

ventajas tecnológicas que brinda. Mediante el secado convectivo, se elimina el contenido de agua de los productos por evaporación, lo que impide el desarrollo de microorganismos y la mayoría de las reacciones enzimáticas.

En el caso específico del plátano, esta técnica permitiría obtener biomásas secas, ya sea de su parte comestible o de los residuos, los cuales podrían combinarse con otros componentes para crear productos alimenticios innovadores o materiales eco-amigables.

5.1.3 Molienda

Se constituye como una operación unitaria fundamental en la industria de procesamiento de alimentos, destinada a reducir el tamaño de las partículas mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Este proceso se lleva a

cabo comúnmente en molinos, donde la materia prima es sometida a fuerzas de compresión, impacto y corte.

La elección del tipo de molino, ya sea de bolas, martillos, rodillos, cuchillas o discos, depende de la condición inicial de la materia prima (seca o húmeda) y del tamaño de partícula deseado.

5.1.4 Tamizado

Es una operación fundamental en la industria, que se emplea para separar partículas sólidas de diversos tamaños mediante el uso de tamices o mallas con aberturas específicas. Este procedimiento se fundamenta en la premisa de que las partículas más pequeñas atraviesan las aberturas del tamiz, mientras que las más grandes quedan retenidas, posibilitando así la clasificación y selección de materiales según su tamaño.

Esta técnica facilita la manipulación, tratamiento y procesamiento posteriores de los materiales, optimizando así los procesos industriales.

5.1.5 Precocción

Es un proceso mediante el cual los alimentos, especialmente las harinas, son sometidos a una cocción parcial antes de su uso final en la producción de alimentos. Esta técnica, que implica aplicar calor a través de vapor, agua caliente o aire caliente, tiene como objetivo principal pre-gelatinizar los almidones presentes en las harinas.

La gelatinización del almidón, que implica la ruptura de sus estructuras cristalinas y la absorción de agua, resulta en una mayor viscosidad y capacidad de retención de agua en el producto final, así como en una reducción del

tiempo de cocción necesario posteriormente. Este proceso es fundamental en la producción de alimentos como pastas, panes congelados y productos de repostería, ya que, mejora significativamente la textura, el sabor y la calidad general del producto final.

5.1.6 Extrusión

Es un proceso que transforma la materia prima en un producto con la forma deseada al hacer pasar el material a través de una abertura pequeña mediante presión. Esta técnica implica una serie de operaciones unitarias que incluyen mezclar, amasar, cortar, calentar, enfriar, dar forma y moldear.

Una variedad de productos alimenticios se elabora mediante la cocción por extrusión, un método que emplea energía térmica y presión para convertir los

ingredientes crudos en productos populares como cereales para el desayuno, pastas, alimentos para mascotas, snacks y productos cárnicos. Esta técnica también es utilizada para realizar la precocción de productos alimenticios, generalmente pastas (Singh & Heldman, 2014).

5.1.7 Frituras

La técnica de fritura consiste en sumergir alimentos en aceite caliente para su cocción, siendo un paso crucial en el procesamiento del plátano para la elaboración de chips.

Durante esta fase, el calor del aceite provoca la evaporación del agua contenida en el plátano, generando una capa crujiente en la superficie del chip mientras se preserva la humedad en su interior.

5.2 Emergentes

5.2.1 Secado

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías, denominadas también como emergentes, que buscan abordar las limitaciones que involucra el secado convectivo. Entre estos métodos emergentes se encuentran el secado por aspersión, el secado por ventana refractiva y la liofilización.

5.2.2 Fritura al vacío

En la técnica de fritura al vacío, los alimentos se sumergen en aceite dentro de un sistema completamente sellado, donde la presión se reduce considerablemente por debajo de los niveles atmosféricos.

Esta particularidad permite que tanto la temperatura de

ebullición del agua como la del aceite sean menores, lo que agiliza el proceso de extracción de la humedad de los alimentos.

Tanto en la fritura al vacío como en la fritura tradicional, se desarrollan simultáneamente procesos de transferencia de calor mediante conducción-convección y transferencia de masa, lo que se traduce en la pérdida de agua y la absorción de aceite por parte de los alimentos.

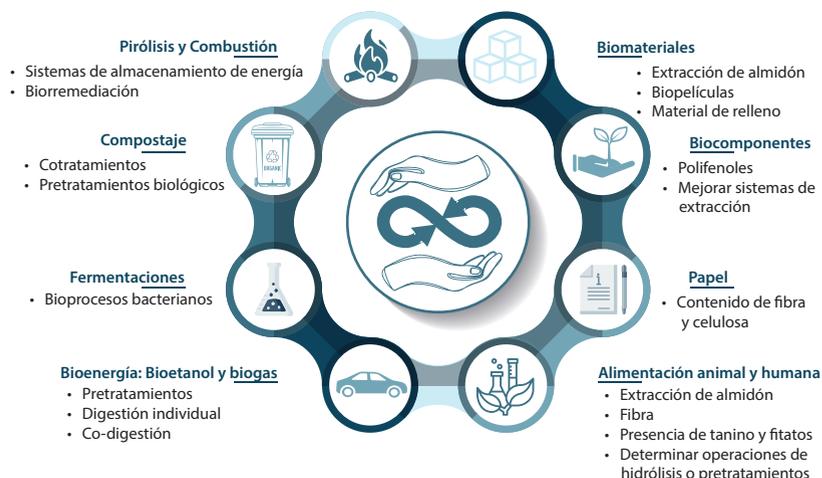
Además, la ausencia de aire durante la fritura al vacío puede inhibir las reacciones de oxidación de los lípidos del aceite y el pardeamiento no deseado. De esta manera, los alimentos deshidratados mediante fritura al vacío pueden presentar una textura crujiente, un color atractivo, un sabor satisfactorio y retener de manera adecuada sus nutrientes esenciales (Torres et al., 2017).



6. Aprovechamiento de coproductos

Los procesos de transformación primaria generan elevados volúmenes de residuos y subproductos, cuya gestión adecuada mediante el diseño de procesos en el marco de la bioeconomía y biorrefinería, podrían generar alternativas de valor añadido a los sistemas productivos principales. En la figura 5, se observan algunas rutas de transformación que se pueden generar de la biomasa.

Figura 5. Esquema de posible aprovechamiento de biomasa derivada del procesado de plátano.



Fuente: Serna, 2022

6.1 Alimentación

El uso de raquis, cáscara, pseudotallo y frutos se ha usado en alimentación animal y humana; se ha incorporado en alimentos como galletas y embutidos, identificando un potencial significativo debido a su contenido en almidón, fibra y antioxidantes, entre otros (Alarcón, 2013; Campuzano et al., 2018; Mazzeo et al., 2010; Zaini et al., 2022; Melo-Sabogal et al., 2015). En bovinos y porcinos, se ha estudiado el consumo directo de hojas, raquis y pseudotallo, evidenciando un bajo aporte nutricional y elevada presencia de sustancias consideradas antinutrientes (taninos, oxalatos y fitatos), por lo que dichos sustratos deben ser pretratados mediante procedimientos físico-químicos, y/o biológicos para mejorar sus características nutricionales (Andrade et al., 2020; Canto y Castillo, 2011; Diniz et al., 2014; Mohd et al., 2022; Nannyonga et al., 2018).

6.2 Materiales biobasados

Materiales que combinan una matriz polimérica con componentes biológicos o biobasados. Estos componentes pueden ser fibras naturales o partículas derivadas de fuentes renovables, como almidón o celulosa.

Al mezclarlos, se logran propiedades mejoradas, como resistencia, flexibilidad y estabilidad (Ramo y Caro. 2014). Debido al contenido en celulosa y almidón en el pseudotallo y cáscara de plátano, se ha descrito el desarrollo de biomateriales muy demandados, como papel, recubrimientos, cartón, cuerdas, tableros de aglomerado y otros materiales de embalaje (Arquelau et al., 2019; Canto y Castillo, 2011; Mazzeo et al., 2010; Orsuwan y Sothornvit, 2017; Ramdhonee y Jeetah, 2017; Rattanawongkun et al., 2020; Raturi et al., 2021).

6.3 Biocomponentes

Se ha descrito la presencia de fenoles, incluyendo taninos y flavonoides, especialmente en pseudotallo y cáscara (Amri y Hossain, 2018; Isaza, 2007; Vu et al., 2018), a los que se les atribuyen propiedades anti-inflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes (Makmur et al., 2022; Vasta et al., 2019).

Debido a este potencial, se han evaluado alternativas de extracción con el uso de solventes, ultrasonidos, ácidos o tratamientos térmicos, si bien se requieren estudios adicionales para evaluar, entre otros, la viabilidad de su escalado (De Sousa et al., 2021; Guiné et al., 2015; Navghare y Dhawale, 2017; Rebello et al., 2014; Zhang et al., 2020).

6.4 Bioetanol

La biomasa lignocelulósica residual derivada del procesado de *Musa* spp. ha cobrado gran importancia debido a su potencial energético.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que se requieren pretratamientos generalmente costosos para realizar la hidrólisis y mejorar los rendimientos del proceso de fermentación alcohólica obtenidos (Monsalve et al., 2006; Rogeri et al., 2023; Singh et al., 2022).

6.5 Biogás

En la producción de biogás es importante considerar la biodegradabilidad de la materia orgánica para determinar la capacidad de los microorganismos involucrados para transformar el sustrato en metano (Siles et al., 2010).

Diversos autores han descrito el uso de pulpa, cáscara, pseudotallo y hojas de *Musa* spp. para la producción de metano, evidenciando el potencial del uso de estos subproductos para obtener biogás (Achinas et al., 2019; Ebich et al., 2022; Jena et al., 2020; Jokhio et al., 2022; Kerubo et al., 2020; Serna-Jiménez et al., 2021).

6.6 Biofertilizantes

Productos derivados de fuentes biológicas que se utilizan para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas, producidos a partir de materia orgánica como estiércol, compost y microorganismos beneficiosos, aportan nutrientes esenciales y mejoran la estructura del suelo, aumentando su retención de agua y promoviendo la actividad microbiana beneficiosa (Armenta et al., 2010).

6.7 Fermentación

Debido al contenido de azúcares presentes en los subproductos derivados de *Musa* spp., varios autores han descrito su uso en procesos de fermentación preliminares para obtener diferentes metabolitos como enzimas, polioles, ácidos orgánicos o hidrógeno, usando microorganismos tales como *E. coli*, *Lentinus crinitus*, *Lactobacillus* spp. o *Clostridium* spp.

(Granda et al., 2005; Mazareli et al., 2021; Yeng et al., 2018).

6.8 Pirólisis y combustión

Producto carbonoso obtenido mediante la pirólisis de biomasa en ausencia de oxígeno.

Se utiliza en aplicaciones agrícolas y medioambientales debido a sus propiedades beneficiosas.

Actúa como un mejorador del suelo al mejorar su estructura, retener agua y nutrientes, y promover la actividad microbiana (Escalante et al., 2016). Se ha utilizado las cáscaras, el pseudotallo y las hojas (Ahmad et al., 2018; Serna-Jiménez et al., 2021).

Además, los materiales derivados de la pirólisis tienen potencial para ser usados en procesos de biorremediación, entre otros (Giri et al., 2012; Hashem et al., 2020; Hua et al., 2012; Lapo et al., 2020; Tejeda et al., 2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achinas, S., Krooneman, J., & Euverink, G. J. W. (2019). Enhanced Biogas Production from the Anaerobic Batch Treatment of Banana Peels. *Engineering*, 5(5), 970–978. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2018.11.036>

Adegunwa, M. O., Oloyede, I. O., Adebajo, L. A., & Alamu, E. O. (2019). Quality attribute of plantain (*Musa paradisiaca*) sponge-cake supplemented with watermelon (*Citrullus lanatus*) rind flour. *Cogent Food and Agriculture*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1631582>

Agama-Acevedo, E., Sañudo-Barajas, J. A., Vélez De La Rocha, R., González-Aguilar, G. A., & Bello-Peréz, L. A. (2016). Potential of plantain peels flour (*Musa paradisiaca* L.) as a source of dietary fiber and antioxidant compound. *CYTA - Journal of Food*, 14(1), 117–123. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1055306>

Ajala, A. S., Ajagbe, O. A., Abioye, A. O., & Bolarinwa, I. F. (2018). Investigating the effect of drying factors on the quality assessment of plantain flour and wheat- plantain bread. *International Food Research Journal*, 25(4), 1566–1573.

Arun, K. B., Persia, F., Aswathy, P. S., Chandran, J., Sajeev, M. S., Jayamurthy, P., & Nisha, P. (2015). Plantain peel - a potential source of antioxidant dietary fibre for developing functional cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6355–6364. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1727-1>

Balakrishnan, S., Wickramasinghe, G. L. D., & Wijayapala, U. G. S. (2021). Investigation on mechanical and chemical properties of mechanically extracted banana fibre in pseudostem layers: From Sri Lankan banana (*Musa*) cultivation waste. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16. <https://doi.org/10.1177/15589250211059832>

Barahapurkar, S., Purwar, R., & Baldua, R. K. (2020). Banana Pseudostem Sap as a Biomordant for Dyeing of Silk with Celosia Flower. *Fibers and Polymers*, 21(9), 2010–2017. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9045-2>

Bello-Pérez, L. A., Pineda-Tapia, F. J., Pacheco-Vargas, G., Carmona-García, R., & Tovar, J. (2024). Whole Unripe Plantain Flour as Unconventional Carbohydrate Source to Prepare Gluten-Free Pasta with High Dietary Fiber Content and

Reduced Starch Hydrolysis. *Starch/Staerke*, 76(1–2).
<https://doi.org/10.1002/star.202200222>

Castañeda-Niño, J., Mina-Hernandez, J., & Solanilla Duque, J. (2024). Potential of plantain pseudostems (*Musa AAB* Simmonds) for developing biobased composite materials. Cali: *Polymers - Open Access Journal by MDPI*. XXX-XXX, In press.

Chavez-Salazar, A. M., Castellanos-Galeano, F. J., & Martinez-Hernandez, L. J. (2017). Effect of process variables in the production of fried green plantain in vacuum | Efecto de las variables de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío. *Vitae*, 24(1), 38–46.
<https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a05>

DANE. (2023). Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario Componente de Abastecimiento de Alimentos (SIPSA_A).

Danso, H. (2021). Properties of Plantain Pseudo-Stem Fibres, Plantain Bunch Fibres, and Rice Husk for Construction Application. *Materials Circular Economy*, 3(1).
<https://doi.org/10.1007/s42824-021-00028-0>

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J. P., González, A., Fernández, A., & Díaz, A. (2009a). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. thermal and functional characterization of cultivated colombian musaceae (*Musa* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7870–7876.
<https://doi.org/10.1021/jf900235a>

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J.-P., González, A., Fernández, A., & Díaz, A. (2009b). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. thermal and functional characterization of cultivated colombian musaceae (*Musa* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7870–7876.
<https://doi.org/10.1021/jf900235a>

Ebich, F., Hassikou, R., el Bari, H., Essamri, A., & Layachi, R. (2022). Production of Methane from Banana Peels by Mesophilic Anaerobic Digestion. *Journal of Chemical Health Risks*, 12(2), 205–211.
<https://doi.org/10.22034/jchr.2021.1908812.1178>

Fan, W., Zhao, J., & Li, Q. (2023). Effect of different food additives on the color protection of instant pumpkin flour.

Food Chemistry Advances, 3.

<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100413>

Ferreiro, O., Martin, L. A., Chacon, W. D. C., Duarte, S., Perilla, J. E., & Ayala Valencia, G. (2023). Valorization of Agro-Industrial Plantain (*Musa × paradisiaca*) By-Products: Alternative Sources of Carbohydrates and Bioactive Compounds. In *Starch/Staerke*. John Wiley and Sons Inc.

<https://doi.org/10.1002/star.202300210>

García-Solís, S. E., Bello-Pérez, L. A., Agama-Acevedo, E., & Flores-Silva, P. C. (2018). Plantain flour: A potential nutraceutical ingredient to increase fiber and reduce starch digestibility of gluten-free cookies. *Starch/Staerke*, 70(1–2).

<https://doi.org/10.1002/star.201700107>

Gibert, O., Dufour, D., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J.-P., González, A., Fernández, A., & Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 1. morphological and compositional characterization of cultivated colombian musaceae (*Musa* spp.) in relation to consumer preferences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7857–7869.

<https://doi.org/10.1021/jf901788x>

Giraldo-Gómez, G. I., Rodríguez-Barona, S., & Sanabria-González, N. R. (2019). Preparation of instant green banana flour powders by an extrusion process. *Powder Technology*, 353, 437–443.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.050>

Giri, A. K., Patel, R., & Mandal, S. (2012). Removal of Cr (VI) from aqueous solution by Eichhornia crassipes root biomass-derived activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 185–186, 71–81.

<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2012.01.025>

Gupta, G., Baranwal, M., Saxena, S., & Reddy, M. S. (2019). Utilization of Banana Stem Juice as a Feedstock Material for Bioethanol Production. *Clean - Soil, Air, Water*, 47(9).

<https://doi.org/10.1002/clen.201900047>

Gupta, G., Baranwal, M., Saxena, S., & Reddy, M. S. (2022). Utilization of banana waste as a resource material for biofuels and other value-added products. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02306-6>

Gutiérrez, T. J. (2018). Plantain flours as potential raw materials for the development of gluten-free functional foods.

Carbohydrate Polymers, 202, 265–279.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.121>

Hernández-Carmona, F., Morales-Matos, Y., Lambis-Miranda, H., & Pasqualino, J. (2017). Starch extraction potential from plantain peel wastes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4980–4985.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.034>

Kumar, P. S., Thayumanavan, S., Pushpavalli, S., Saraswathi, M. S., Backiyarani, S., Mohanasundaram, A., & Uma, S. (2023). Comparing physico-chemical characteristics, antioxidant properties, glycemic response, and volatile profiles of eleven banana varieties. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2893–2908.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.16392>

Lapo, B., Bou, J. J., Hoyo, J., Carrillo, M., Peña, K., Tzanov, T., & Sastre, A. M. (2020). A potential lignocellulosic biomass based on banana waste for critical rare earths recovery from aqueous solutions. *Environmental Pollution*, 264, 114409.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114409>

Luckow, A. C. B., Bonemann, D. H., De Souza, A. O., Scherdien, S.

H., Pereira, C. C., Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., & Nunes, A. M. (2024). Low pressure closed system applied to sample preparation of instant soups for elemental determination by MIP OES. *Journal of Food Composition and Analysis*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.105974>

Martínez-Cardozo, C., Cayón-Salinas, G., & Ligarreto-Moreno, G. (2016). Chemical composition and distribution of dry matter in genotypes of banana and plantain fruits | Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(2), 217–227.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art:491

Mazareli, R. C. da S., Villa Montoya, A. C., Delforno, T. P., Centurion, V. B., de Oliveira, V. M., Silva, E. L., & Varesche, M. B. A. (2021). Enzymatic routes to hydrogen and organic acids production from banana waste fermentation by autochthonous bacteria: Optimization of pH and temperature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(12), 8454–8468.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.063>

Melo-Sabogal, D. V., Torres-Grisales, Y., Serna-Jiménez, J. A., & Torres-Valenzuela, L. S. (2015). Aprovechamiento de pulpa y

cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp) para la obtención de maltodextrina. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 76–85.

[https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)76-85](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)76-85)

Minagricultura. (2016). Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2016.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Acuerdo de Competitividad Cadena Productiva de Plátano.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena de Plátano.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. Retos Para Una Agricultura Resiliente Anticipación y Adaptación a Amenazas Derivadas Del Clima.

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Pages/default.aspx>

Mohd Zaini, H., Roslan, J., Saallah, S., Munsu, E., Sulaiman, N. S., & Pindi, W. (2022). Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *Journal of Functional Foods*, 92, 105054.

<https://doi.org/10.1016/J.JFF.2022.105054>

Monsalve, J. F. G., Medina, V. I. de P., & Ruiz, A. A. C. (2006). Ethanol production of banana shell and cassava starch. *Dyna*, 150, 21–27.

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotérmica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca* ABB). Thermal and rheological evaluation of flour and starch from banana dominico harton (*Musa paradisiaca* ABB). In Julio-Diciembre (Vol. 19, Issue 2).

Moreira, M. I. D., Zambrano, D. B. V., & Villafuerte, C. R. D. (2023). Evaluation of the physical properties of banana pseudostem for textile application. *Visions for Sustainability*, 2023(19). <https://doi.org/10.13135/2384-8677/7061>

Nguimbou, R. M., Youdom, P., Epoh, S., & Ndjouenkeu, R. (2021). Utilization of overripe banana/plantain-maize composite flours for making doughnuts: physicochemical, functional, rheological and sensory characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 59–70. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00609-8>

Quintero-Castaño, V. D., Castellanos-Galeano, F. J., Álvarez-Barreto, C. I., Bello-Pérez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2020). In vitro digestibility of octenyl succinic anhydride-starch from the fruit of three Colombian *Musa*. *Food Hydrocolloids*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105566>

Rogeri, R. C., Fuess, L. T., Eng, F., Borges, A. do V., Araujo, M. N. de, Damianovic, M. H. R. Z., & Silva, A. J. da. (2023). Strategies to control pH in the dark fermentation of sugarcane vinasse: Impacts on sulfate reduction, biohydrogen production and metabolite distribution. *Journal of Environmental Management*, 325, 116495. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116495>

Rotimi, D. E., & Adeyemi, O. S. (2023). Comparative Evaluation of the Antioxidant Activity, Trace Elements, and Phytochemical Analysis of the Extracts of Unripe Plantain Whole Fruit and Pulp. *Karbala International Journal of Modern Science*, 9(2), 168–177. <https://doi.org/10.33640/2405-609X.3290>

Serna-Jiménez, J. A., Siles López, J. Á., de los Ángeles Martín Santos, M., & Chica Pérez, A. F. (2023). Exploiting waste derived from *Musa* spp. processing: Banana and plantain. In *Biofuels*,

Bioproducts and Biorefining (Vol. 17, Issue 4, pp. 1046–1067). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/bbb.2475>

Singh, A., Singhanía, R. R., Soam, S., Chen, C. W., Haldar, D., Varjani, S., Chang, J. S., Dong, C. di, & Patel, A. K. (2022). Production of bioethanol from food waste: Status and perspectives. *Bioresource Technology*, 360, 127651. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.127651>

Vélez Arenas, J.S. (2018). Actividad antioxidante de la flor de plátano. <https://orcid.org/0000-0002-2276-2861>

Serna-Jiménez, J. A., Luna-Lama, F., Caballero, Á., Martín, M. de los Á., Chica, A. F., & Siles, J. Á. (2021). Valorisation of banana peel waste as a precursor material for different renewable energy systems. *Biomass and Bioenergy*, 155, 106279. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2021.106279>

Yadav, G. P., Kumar, D., Dalbhat, C. G., & Mishra, H. N. (2024). A comprehensive review on instant rice: Preparation methodology, characterization, and quality attributes. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100581>