

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**“ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LAS
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS Y
ANTIOXIDANTES DE HARINAS OBTENIDAS A PARTIR DE
PLÁTANO MACHO
(*Musa balbisiana*)”**

**TRABAJO FIN DE GRADO
Marzo 2019**

Autor: Stoyan Lyubenov Tsircov

Tutor: Manuel Viuda Martos



Título: Estudio de la composición química y las propiedades físico-químicas, tecnofuncionales y antioxidantes de harinas obtenidas a partir de plátano macho (*Musa balbisiana*).

Resumen

El objetivo general de este trabajo fue determinar la composición química, propiedades físico-químicas, tecno-funcionales, el contenido en compuestos bioactivos, así como las propiedades antioxidantes de las harinas obtenidas a partir de la piel de plátano macho (*Musa balbisiana*) en dos estados diferentes de maduración como son: inmaduro y maduro, para determinar su potencial uso como ingrediente en el desarrollo de nuevos alimentos. Para ello se determinaron la composición química, las propiedades físico-químicas y tecno-funcionales, así como su capacidad antioxidante. Los resultados obtenidos muestran que ambas harinas presentan un alto contenido en fibra dietética fundamentalmente insoluble, unas buenas propiedades tecno-funcionales, destacando la capacidad de retención de agua y capacidad emulsionante. Además, las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y maduro, presentan actividad antioxidante con los cuatro métodos ensayados.

Palabras clave: Piel plátano, harinas, composición química, propiedades físico-químicas, propiedades tecnofuncionales y actividad antioxidante.

Title: Study of the chemical and physical-chemical composition, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from male plantain (*Musa balbisiana*).

Abstract

The general objective of this work was to determine the chemical composition, physical-chemical properties, techno-functional, the content of bioactive compounds, as well as the antioxidant properties of the flours obtained from the skin of male banana (*Musa balbisiana*) in two different states of maturation such as: immature and mature, to determine its potential use as an ingredient in the development of new foods. For this study, they are determined the chemical composition, physical-chemical and techno-functional properties, as well as its antioxidant capacity will be determined. The results obtained show that both flours have a high content of mainly insoluble dietary fiber, good techno-functional properties, highlighting the capacity of water retention and emulsifying capacity. In addition, samples of flour obtained from banana skin in different stages of maturation, such as green and ripe, have antioxidant activity with the four methods tested.

Keywords: Banana skin, flours, chemical composition, physicochemical properties, technofunctional and antioxidant properties.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Página

1. Introducción	8
1.1 Cultivo del plátano	8
1.1.1 Definición	8
1.1.2 Origen	9
1.1.3 Variedades	10
1.1.4 Producción	11
1.1.5 Importación y exportación	14
1.1.6 El plátano en la industria alimentaria	17
1.2 Fibra dietética total	18
1.2.1 Clasificación de la fibra dietética	20
1.3 Polifenoles y su actividad antioxidante	22
2. Objetivos	25
2.1 Objetivo general	25
2.2 Objetivos particulares	25
3. Materiales y métodos	26
3.1 Material vegetal	26
3.2 Obtención de las muestras	26
3.3 Determinación de la composición química	26
3.3.1 Humedad	26
3.3.2 Proteínas	27
3.3.3 Grasas	27
3.3.4 Cenizas	27
3.3.5 Fibra dietética	27
3.4 Propiedades fisico-químicas	28
3.4.1 pH	28
3.4.2 Actividad de agua (Aw)	28
3.4.3 Color	28
3.5 Propiedades tecnofuncionales	28
3.5.1 Capacidad de retención de agua (CRA)	28
3.5.2 Capacidad de retención de aceite (CRO)	29
3.5.3 Capacidad de hinchamiento (SWC)	29
3.5.4 Capacidad emulsificante (CE)	30
3.5.5 Estabilidad de la emulsión (EE)	30
3.6 Determinación de compuestos bioactivos	30
3.6.1 Extracción	30
3.6.2 Contenido de fenoles totales (TPC)	31
3.6.3 Contenido de flavonoides totales (TFC)	31

3.7 Determinación de la actividad antioxidante	32
3.7.1 DPPH	32
3.7.2 ABTS	32
3.7.3 FRAP	33
3.7.4 FIC	33
3.8 Análisis estadístico	34
4. Resultados y discusión	34
4.1 Propiedades químicas	34
4.2 Propiedades físico-químicas	36
4.3 Propiedades tecnofuncionales	37
4.4 Determinación de compuestos bioactivos	39
4.5 Determinación de actividad antioxidante	40
5. Conclusión	42
6. Bibliografía	43



ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1: Variedades más conocidas de banana y sus características	10
Tabla 2: Principales países productores de banana para postre	13
Tabla 3: Principales constituyentes de la fibra dietética	20
Tabla 4: Composición química de las distintas harinas	34
Tabla 5: Propiedades físico-químicas de las distintas harinas	36
Tabla 6: Propiedades tecno-funcionales de las distintas harinas	37
Tabla 7: Determinación de los compuestos bioactivos	39
Tabla 8: Determinación de la actividad antioxidante	40



ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1: Cultivo del plátano	8
Figura 2: Orígenes del plátano	9
Figura 3: Producción mundial de banano por tipos	11
Figura 4: Producción de “Cavendish” por país	12
Figura 5: Producción mundial de banano	13
Figura 6: Exportación de bananos por región	15
Figura 7: Distribución de las importaciones mundiales de banano por mercado	16
Figura 8: Snacks de plátano	17
Figura 9: Producción de snacks a nivel mundial	18
Figura 10: Diferentes estructuras de los compuestos fenólicos	23
Figura 11: Esquema de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos	24



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Cultivo del plátano

1.1.1 Definición

Musa balbisiana, comúnmente conocida como “Plátano” es una planta originaria de las regiones tropicales húmedas del sudeste de Asia, que pertenece a la familia de las Musáceas. Es una planta con hojas perenne que alcanza una altura de alrededor de 6 metros, con pseudotallos de hasta 30cm de diámetro base y se desarrolla en suelos ligeros (arenosos), medios (francos) y pesados (arcillosos), con lo cual, muestra que es un cultivo que requiere humedad para su desarrollo. En la figura 1 se observa una plantación de plátanos. La mejor época de siembra es a la entrada de las lluvias, cuando la precipitación permite la germinación de la semilla, con poco riesgo de putrefacción. Por otro lado, el pH adecuado es el neutro y el ácido (puede crecer en suelos muy ácidos). Las hojas son muy grandes, en posición vertical y en grupos. El color de las flores es, de rojo a marrón. Los frutos son de color amarillo pálido y no se pueden comer cuando están crudos debido a sus numerosas semillas, el tallo interno y los racimos de flores masculinas se utilizan en los “curries”.



Figura 1. Plantación de plátanos

1.1.2 Origen

El banano es una planta que se cultiva desde aproximadamente 10.000 años y procede del sudeste Asiático. Las primeras huellas fueron encontradas en Papúa Nueva Guinea (en el siglo VII a.C.), que al ser monocotiledónea, originariamente era salvaje y se producía en semillas, aunque hoy en día podemos encontrar su estado salvaje en las Filipinas, Papúa Nueva Guinea e Indonesia (Fuente CNUCED, Infocomm).

No obstante, los cruces naturales que se han ido produciendo, han provocado una diversidad genética importante, ya que han permitido la aparición de variedades sin semillas con cualidades alimentarias muy interesantes para los consumidores.

El banano fue viajando con la migración humana: primero desde Papúa Nueva Guinea hasta la península del Indostán, en segundo lugar, en el siglo XV los comerciantes árabes y persas lo llevaron desde el Sudeste Asiático hasta el Oriente Próximo, Oriente Medio, y finalmente a África y Europa; y en tercer lugar, hacia las islas del Caribe y el mundo de los colonizadores y misioneros europeos. En la figura 2 se observa un mapamundi del origen y distribución del banano.



Figura 2. Origen y distribución de plátanos y bananos

1.1.3 Variedades

Hoy en día podemos encontrar distintas tipologías de banana, ya que difieren según la dimensión, el sabor y la estructura de la pulpa. Ahora bien, las especies más conocidas de banana son: *Musa acuminata*, *Musa balbisiana* y *Musa paradisiaca*, que es el resultado de un proceso de hibridación “mestizaje”. (Fuente ZIPMEC)

Además de las especies nombradas anteriormente, encontramos la especie llamada “Plátano” que se parece en la forma a la banana, pero tiene dimensiones mayores (llega aproximadamente hasta los 40 cm) y es de color verde intenso, como también presenta una cáscara más espesa y dura. (Fuente ZIPMEC). En la tabla 1, se encuentra algunas de las variedades de banana más conocidas y comercializadas a nivel mundial, como también, las características más relevantes y peculiares que se conocen de momento.

Tabla 1. Principales variedades de banana comercializadas a nivel mundial y sus características más importantes.

Variedad	Características
Dwarf Cavendish (<i>Musa acuminata</i> AAA)	Es la variedad de banana (triploide) más cultivada y comercializada en el mundo. Su nombre hace referencia al tallo, y no del fruto (que es de dimensiones medio-grandes). Su cáscara es fina y es la menos resistente a los transportes, sin embargo, es la más cultivada a nivel mundial.
Gros Michel (<i>Musa acuminata</i> AAA)	Esta variedad de banana, es la primera con destino masivo a la exportación a ultramar por todo el mundo. Una de las características más peculiares, la define como la banana más dulce y grande (en tamaño) de toda la familia “ <i>Cavendish</i> ”.
Grand Nain (<i>Musa acuminata</i> AAA)	Es una de las variedades más cultivadas y comercializadas a nivel mundial, dentro del sector hortofrutícola. Es conocida también como “Banana Chiquita”, como también es una de las variedades con las que más cultivos biológicos se realizan.
Lacatan (<i>Musa cuminata</i> AA)	Es muy dulce y popular en la Filipinas. La planta puede llegar a medir hasta 12 metros, y los frutos se cosechan hasta 12 meses después de la siembra. Son frutos muy alargados y de piel espesa. En su estado de madurez óptimo a la cosecha, presentan un color amarillo-naranja.
Lady’s Finger (<i>Musa acuminata</i> AA)	Sus frutos son pequeños, de piel muy fina y un sabor dulce, que representa el 14% de la producción en Australia. El hecho de ser bananas de un tamaño reducido (en comparación con las demás variedades), esto hace que sean muy útiles para ensaladas de frutas y dulces, todo esto, porque no presenta pardeamiento (color marrón) en la superficie del corte.

No obstante, hoy en día todas las variedades de banana y plátano comestibles son el resultado de cruces híbridos y formas poliploides de la banana, las cuales no poseen semillas (bananas partenocárpicas) y estériles (Fuente ZIPMEC). Entre las variedades de bananas producidas en el mercado mundial, y las más conocidas y comercializadas, son: Dwarf Cavendish, Gros Michel, Lacatan, Lady's Finger.

1.1.4 Producción

Como ya sabemos, los bananos son cultivos perennes que crecen con rapidez y pueden cosecharse durante todo el año. En el año 2000, se cultivó una superficie de alrededor de 9 millones de hectáreas. El promedio de la producción mundial en 1998-2000 fue de 92 millones de toneladas anuales y en 2001 se estimó en 99 millones de toneladas. Estas cifras son una aproximación, ya que la mayor parte de la producción mundial de banano (casi el 85%), procede de parcelas relativamente pequeñas y huertos familiares en donde no hay estadísticas (FAOSTAT 2018). En la figura 3 se observa la producción mundial por tipos de banano.

En muchos países en desarrollo, la mayoría de la producción de banano se destina al autoconsumo o se comercia localmente, desempeñando así una función esencial en la seguridad alimentaria (FAOSTAT 2018).

En la figura 3 observamos la producción de los distintos tipos de banano:

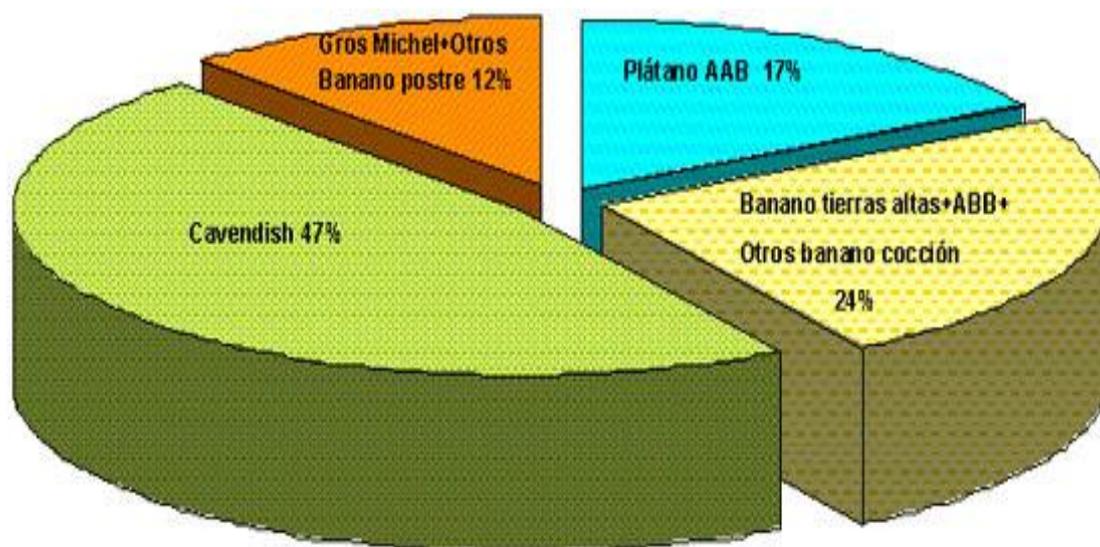


Figura 3. Producción mundial de banano por tipos. Fuente CIRAD-FLHOR

Se estima que la producción mundial de banano creció un 30% durante los años noventa, debido en gran parte al aumento de la producción de “Cavendish”. Sin embargo, no es posible determinar el valor exacto del cultivo, porque sólo la séptima parte de los bananos producidos llegan al mercado internacional. El valor total del comercio internacional de banano oscila entre 4500 y 5000 millones de dólares EE.UU. anuales. (FAOSTAT-Economía mundial del banano 1985-2002)

En la figura 4 se observa la producción de la variedad “Cavendish” en concreto, producida por cada país

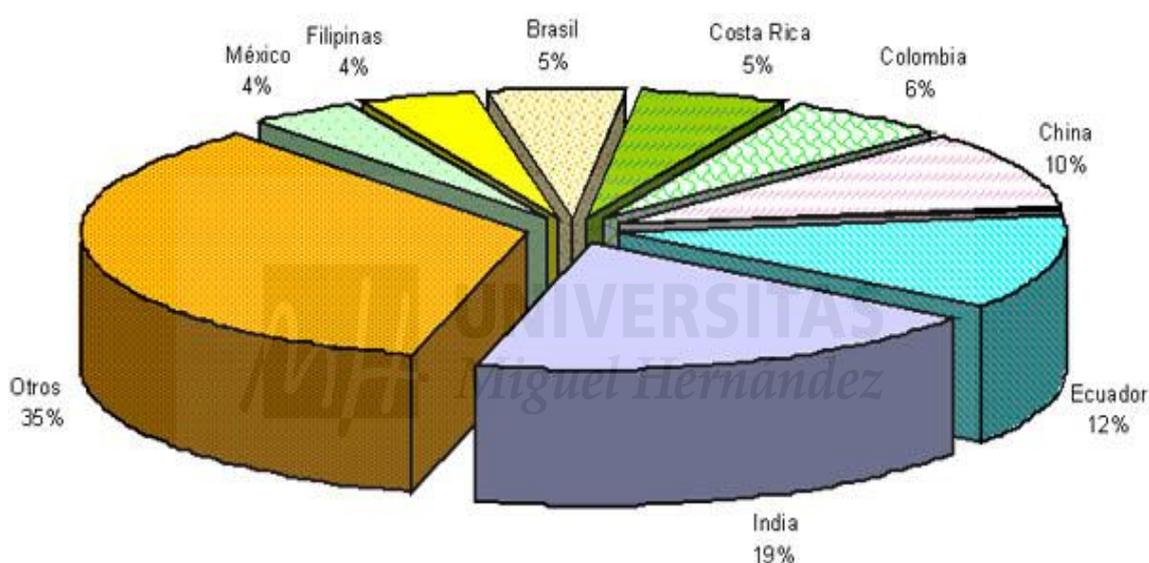


Figura 4. Producción de “Cavendish” por país (promedio 1998-2000)

Fuente CIRAD-FLHOR

En la figura 5 se observa la producción mundial de banano en millones de toneladas:

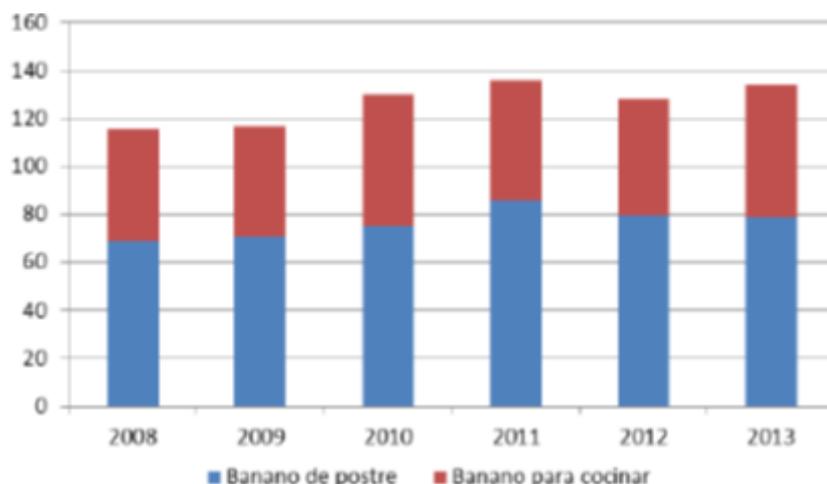


Figura 5. Producción mundial de banano (2008-2013)

Como se observa en la figura 5, la producción mundial de banano alcanzó casi 134 millones de toneladas en el año 2013, de los cuales el 40% (cerca de 55 millones de toneladas) corresponde a variedades de banano para cocinar (banano macho y otros tipos) y un 60% (aproximadamente 79 millones de toneladas) a variedades de banano de postre (Cavendish, Gros Michel) entre otros.

En la tabla 2 se observan los principales países productores de banana destinados para postre, en millones de toneladas.

Tabla 2. Principales países productores de banana destinados para postre, en millones de toneladas. Fuente Lescot, 2015; base de datos de la FAO

PAÍS	TONELADAS DE BANANAS
India	17.075.000
China	11.560.238
Brasil	5.402.622
Ecuador	6.145.527
Filipinas	5.790.091
Indonesia	3.289.115
Colombia	2.587.625
Guatemala	2.210.000
Costa Rica	2.010.000
México	1.887.772

El cultivo del banano se encuentra actualmente presente en todas las regiones tropicales y subtropicales del planeta, principalmente en Asia (44% de la producción mundial), África (el 25%), América Central y del Sur (el 22%). Fuente IFOCOMM, UNCTAD

1.1.5 Importación y exportación

En el 2015, las exportaciones mundiales de bananos registraron su primer descenso desde 2010, tras haber alcanzado un nivel sin precedentes de 18,6 millones de toneladas en 2014, debido a los efectos adversos del fenómeno de “El Niño”, así como a la propagación de la “fusariosis” del banano, afectaron negativamente a los rendimientos y produjeron una escasez de producción en varias de las principales regiones productoras y exportadoras. (FAOSTAT 2017)

La mayor parte del descenso se explicó por una caída del 50% de los volúmenes exportados por Filipinas, donde un prolongado período de sequía afectó fuertemente a la calidad y el volumen de la producción. Filipinas, anteriormente el segundo exportador mundial después de Ecuador, había alcanzado un volumen máximo de exportación de 3,68 millones de toneladas en 2014, que se redujo a 1,85 millones de toneladas en 2015. Como consecuencia de los menores envíos de Filipinas, los principales destinos de las exportaciones, estos es, Japón y China, que aumentaron sus pedidos a Ecuador para satisfacer la demanda interna (FAO 2017).

Por otra parte, los **Estados Unidos**, favorecidas por la creciente demanda de bananos, provocó que las exportaciones del Perú aumentaran en un 20% y alcanzaron 191000 toneladas en 2015. No obstante, en el Caribe, las exportaciones siguieron estando dominadas por la República Dominicana, que representó el 93% del volumen total exportado por la región en 2015. (FAO 2017)

Ahora bien, las exportaciones bananeras de **República Dominicana** cayeron un 75% a 138.000 toneladas después de que una tormenta tropical destruyera un 40% de la cosecha en agosto del 2015. (FAO 2017)

En cuanto a las exportaciones **asiáticas**, cabe destacar que disminuyeron en un 46% en el 2015 debido al descenso de la producción experimentado por Filipinas, el mayor exportador de la región, que representó alrededor del 90% del volumen total de exportaciones de Asia. Las condiciones climáticas adversas y la fusariosis del banano afectaron gravemente a la producción en Filipinas. La India, el mayor productor

mundial de bananos, aumentó su volumen de exportación en un 47% debido a una nueva expansión de la superficie cosechada para las variedades comercializadas. (FAO 2017)

También, las exportaciones de **América Latina** y el **Caribe** mostraron un descenso del 1% debido a los menores envíos de Costa Rica y Colombia (dos de los principales exportadores de la región), puesto que se produjeron grandes lluvias, lo que obligó a Costa Rica competir con los precios en el mercado mundial. Colombia también se vio afectada por la extrema sequía que se manifestó, y a consecuencia de éste fenómeno, los bajos niveles de productividad y disminución de las superficies cosechadas. (FAO 2017)

Por último, las exportaciones **africanas** representaron un 3,9% de los envíos mundiales de bananos, no obstante, en el 2015 se redujeron un 12%, situándose en 604.000 toneladas, debido principalmente a la grave escasez en la producción en Ghana. La Costa de Marfil, el mayor exportador de la región, envió 305.000 toneladas de banano (9% menos que el año 2013). Las exportaciones de Camerón, el segundo exportador africano, aumentó su exportación en un 6,5% a 283.000 toneladas, por lo que éstos dos países exportan del 80% al 90% de la producción nacional, siendo Europa su principal destino de sus exportaciones. (FAO 2017)

En la figura 6 se observan las exportaciones de banana por región, a nivel mundial:

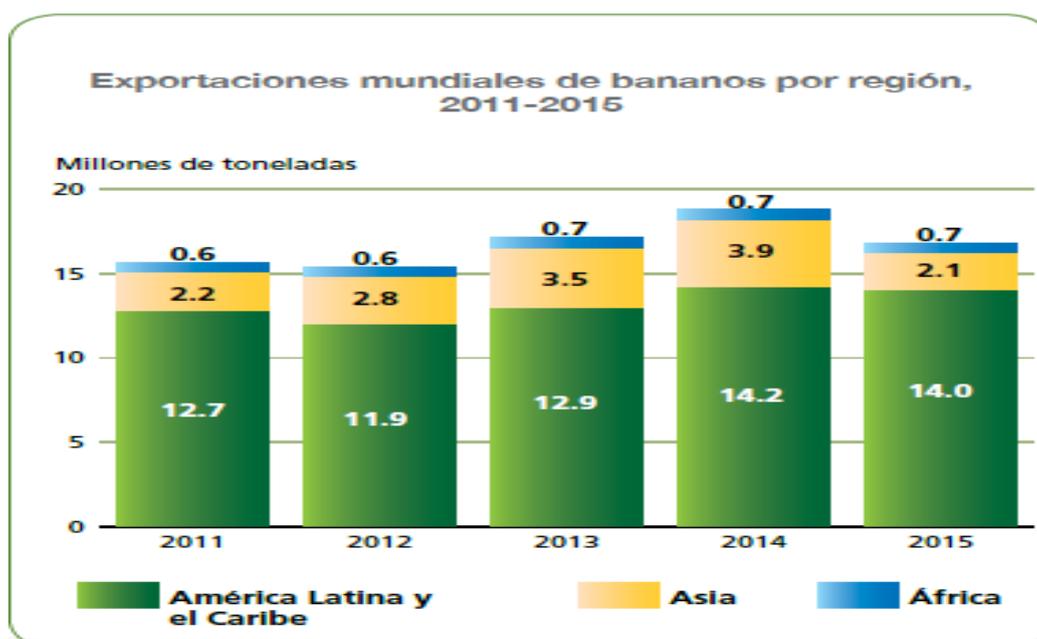


Figura 6. Exportaciones mundiales de bananos por región. Fuente FAOSTAT

En cuanto a las importaciones, el volumen mundial de importaciones de bananos se situó en 17 millones de toneladas en 2015. Los dos mayores importadores netos, esto es, la Unión Europea y Estados Unidos, registraron un crecimiento moderado en 2015 y alcanzaron el 31% y el 27% del volumen total de las importaciones mundiales respectivamente. La fuerte demanda, favorecida por una mayor concienciación en materia de salud y, por consiguiente, un mayor consumo de fruta, fue el principal motor del crecimiento de las importaciones en la Unión Europea. (FAO 2017)

Las importaciones brutas de la **Unión Europea** (UE) aumentaron en 3%, impulsadas por la fuerte demanda de los consumidores en los principales países importadores. (FAO 2017)

Las importaciones de la **Federación de Rusia** disminuyeron por segundo año consecutivo, pasando del máximo sin precedentes de 1,32 millones de toneladas en 2013 a 1,23 millones de toneladas en 2015, es decir, un 4% menos. (FAO 2017)

Las importaciones de **China**, el cuarto mayor importador mundial, experimentaron una disminución del 5% a 1,1 millones de toneladas. El año anterior, los vientos fuertes habían destruido gran parte de la cosecha de banano en China, causando una escasez de producción y un aumento de los precios en 2014. (FAO 2017)

Las importaciones de banano del **Japón** registraron un crecimiento moderado del 1%, pero se mantuvieron un poco por debajo de 1 millón de toneladas. Aunque la demanda se mantuvo firme, el crecimiento de las importaciones se vio limitado por la debilidad del “yen” en relación con el dólar de EE.UU. (FAO 2017)

En la figura 7 se observa la distribución de las importaciones por mercado a nivel mundial:

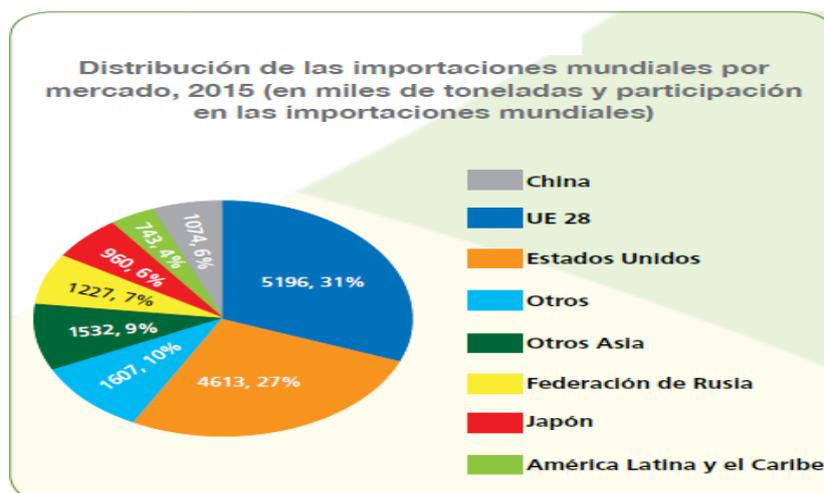


Figura 7. Distribución de las importaciones mundiales por mercado, 2015 (en miles de toneladas y participación en las importaciones mundiales). Fuente FAOSTAT

1.1.6 El plátano en la industria alimentaria

Latinoamérica es el líder mundial de procesamiento del banano. El producto que manufactura es el famoso “chips” o “snacks de plátano”, que según el país, se denominan “tajadas de plátano” o “platanitos”. (Fuente MINAGRI 2017, Tomás Manuel Nuñez Carrión)

En la figura 8 se observa el “snack” de plátano listo para ser consumido:



Figura 8. Snacks de plátano

Hoy en día, el crecimiento de esta industria ha sido constante, gracias al Ministerio de Salud que ha fomentado cierta reacción al público, y que posteriormente se tradujo en un mayor interés en los “snacks” saludables en los que se encuentra el plátano deshidratado. Estudios científicos revelaron que existe una tendencia creciente para los próximos años, donde las personas consumirán mucho más productos sanos y naturales. A esta nueva tendencia se presenta como una solución la fruta deshidratada, donde el bajo costo de la materia prima y la estacionalidad de la fruta se presentan como ventajas para la producción de los “snacks” de plátano deshidratado. (Tomás Manuel Nuñez Carrión)

En la figura 9 se observa la producción de “snacks” a nivel mundial:

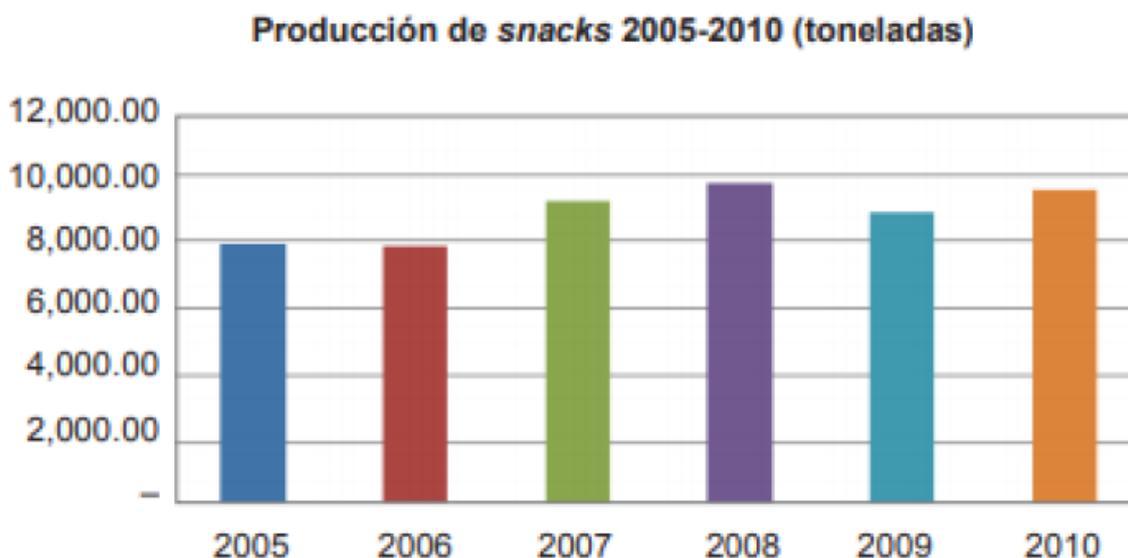


Figura 9. Producción de snacks

Fuente PRODUCE 2011

Como se observa en la figura anterior, la producción de “snacks” de plátano experimentó un crecimiento a partir de los años 2005-2006, llegado hasta casi las 12.000 toneladas en los años 2008 y 2010.

1.2 Fibra dietética total

Hoy en día existe un gran interés por la fibra dietética. Este interés no es nuevo, ya en 1809, Einhof, un investigador alemán, desarrolló un método gravimétrico para medir la cantidad aproximada de fibra cruda en los alimentos para animales. El término de fibra cruda se utilizaba para designar el residuo (principalmente, celulosa y lignina) que se obtenía después de la extracción de los vegetales con éter y posteriormente con ácido y álcali débiles (Hernández et al., 1999).

Hispley, en 1953, fue el primer científico que reflejó por escrito el término de fibra dietética, definiendo a ésta como los constituyentes no digeribles que se encuentran en la pared de la célula vegetal, haciendo sinónimos los términos fibra vegetal y fibra dietética.

Entre 1972 y 1976, Burkitt, Trowell y Painter adoptaron un término más amplio de fibra dietética debido a que diversos estudios epidemiológicos encontraron una correlación

entre el consumo de determinados alimentos no digeribles y la disminución de ciertas enfermedades, como el estreñimiento, la obesidad, la diabetes, las enfermedades coronarias e, incluso, determinados tipos de cáncer, proponiendo la conocida hipótesis de la fibra dietética (Gil, 2010).

En 2001, la “American Association of Cereal Chemist” amplió aún más el concepto de fibra dietética: la fibra dietética es la parte comestible de las plantas y los hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y la absorción en el intestino delgado, con completa o parcial fermentación en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos y/o atenúan los niveles de colesterol y/o glucosa en sangre (Gil, 2010).

Miembros de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y la Organización Mundial de la Salud (OMS), opinan que la definición de fibra debe estar claramente vinculada a los vegetales, frutas y granos de cereales (Consumer, 2007).

En la actualidad, la fibra dietética se puede definir como una sustancia de origen vegetal que no puede ser digerida por las enzimas del tracto digestivo humano. Son polisacáridos estructurales de las plantas, que incluyen la celulosa, hemicelulosa, betaglucanos, pectinas, mucílagos, gomas y lignina; este último no tiene estructura de polisacárido porque son polímeros de fenilpropano. Las diferencias estructurales de cada uno de ellos determinan propiedades físico químicas diferentes y como consecuencia, comportamientos fisiológicos diversos (Segundo et al., 2011).

Aunque no es universalmente aceptada por los diferentes expertos, esta definición parece el enfoque ideal del problema desde un punto de vista nutricional, y así ha sido admitida por fabricantes e industriales de la alimentación (Hernández et al., 1999).

En la tabla 3 se observan los principales constituyentes de la fibra dietética:

Tabla 3. Principales constituyentes de la fibra dietética. Fuente Ángel Gil 2010

POLISACÁRIDOS	ANÁLOGOS DE LOS HC	OLIGOSACÁRIDOS	DERIVADO S NO HC
Celulosa	Dextrinas no digeribles	Inulina	Lignina
Hemicelulosas	Maltodextrinas resistentes	Fructooligosacáridos	Ceras
Pectinas	Polidextrosa	Galactooligosacáridos	Fitatos
Gomas	Metilcelulosa		Cutinas y suberinas
Mucílagos	Hidroxipropilmetilcelul osas		
Polifruktosas	Almidón resistente HC sintéticos		

1.2.1 Clasificación de la fibra dietética

Las diversas fibras se diferencian por las distintas características que las definen y que han ido ampliando su concepto. En este sentido, las fibras se podrían encuadrar en función de su composición química, su situación en la planta o sus propiedades fisicoquímicas (Gil, 2010). Tradicionalmente, se han venido agrupando en función de su mayor o menor capacidad para retener agua, ya que esta propiedad determina en gran medida las propiedades fisicoquímicas de los compuestos no digeribles y sus efectos fisiológicos en el tracto gastrointestinal. La solubilidad en agua condiciona un determinado comportamiento fisiológico porque el agua, por un lado, vehiculiza y

facilita la acción de las enzimas, ya sean digestivas o de origen bacteriano y, por otro lado, aumenta la viscosidad del medio, reteniendo componentes alimentarios (glucosa, grasa, minerales, etc.), enlenteciendo o dificultando su absorción a través de la mucosa intestinal y/o dificultando el contacto de determinadas sustancias nocivas con el epitelio intestinal (Mataix, 2009).

Fibra dietética soluble

La fibra dietética soluble o altamente fermentable contiene mayoritariamente polisacáridos no celulósicos tales como pectina, gomas, mucílagos, almidón resistente, ciertos tipos de hemicelulosas y polisacáridos de reserva de la planta no amiláceos. La mayor parte de estos compuestos son muy hidratables, de ahí su gran capacidad de absorber agua y formación de geles en el intestino delgado. La fibra soluble se caracteriza porque retrasa la absorción de glucosa y grasa en el intestino delgado, es decir, capta sustancias a nivel intestinal impidiendo su absorción, tales como el colesterol.

Gran parte de ella sufre un proceso bacteriano de fermentación en el colon, con producción de ácidos grasos de cadena corta, que son absorbidos por el organismo. Se encuentra en las legumbres y la mayoría de las frutas, en frutos secos u oleaginosos, algas marinas, cereales, etc. En los cítricos (naranja, limón, pomelo), abunda en la parte blanquecina, entre la cáscara y en el interior comestible (Escudero & González, 2006).

La fracción soluble es variable, existiendo proporciones elevadas de la misma respecto al total de fibra dietética, en frutas es del 38%, 32% en verduras y hortalizas y en legumbres un 25% (Guarner, 2008).

Fibra dietética insoluble

La fibra dietética insoluble se compone fundamentalmente de fragmentos de las paredes celulares que contienen celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles como los taninos condensados. Apenas sufre procesos fermentativos en el colon y tiene un efecto más marcado en la regulación intestinal, por su capacidad de aumentar el tránsito intestinal (Guarner, 2008).

La celulosa es un polisacárido que no es atacado por las enzimas del aparato digestivo del organismo humano y que constituye junto al resto de los polisacáridos llamados inertes o resistentes, la parte no digerible de los alimentos de origen vegetal denominada

fibra bruta, de gran significado como inductora del peristaltismo intestinal (Belitz & Grosch, 1997).

Predomina en los cereales, hortalizas, productos integrales y en todo tipo de salvado, también en hortalizas como la col rizada y en verduras, pero en menor medida (Amway, 2009).

1.3 Los polifenoles en los alimentos y su actividad antioxidante

Hoy en día los antioxidantes han ganado mucha importancia debido a su implicación positiva en la promoción de la salud. En este contexto, varios estudios epidemiológicos han asociado el consumo de compuestos fenólicos con el menor riesgo de contraer diferentes enfermedades como el cáncer (Yang et al., 2011) o las enfermedades cardiovasculares (Hooper et al., 2008). Por ello, actualmente hay un gran interés en conocer la composición en polifenoles de los diferentes alimentos.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, derivados de complejas rutas metabólicas de origen mixto (siquímico-acetato y acetato-mevalonato), y de reacciones enzimáticas como hidroxilaciones, metilaciones, acetilaciones y glicosilaciones (Palacios et al., 2004; Lapornik et al., 2005), y determinantes en la calidad sensorial y nutricional de las frutas y vegetales. Son comúnmente encontrados en las plantas comestibles y no comestibles, y a ellos se les atribuyen múltiples efectos biológicos, incluyendo la capacidad antioxidante. La ingesta de alimentos ricos en sustancias antioxidantes, como vitaminas C y E, carotenoides y compuestos fenólicos, previene o disminuye el desarrollo de enfermedades relacionadas con el daño oxidativo en nuestro organismos. En realidad son los polifenoles, los principales antioxidantes de la dieta, ya que su ingesta es 10 veces superior a la de la vitamina C, y 100 veces superior a la de la vitamina E o los carotenoides, (Rice-Evans et al., 1996). No obstante, la capacidad antioxidante de los alimentos vegetales se deriva de una acción sinérgica acumulativa de una amplia variedad de antioxidantes como la vitamina C y E, los polifenoles, carotenoides, terpenos, compuestos de Maillard y minerales traza (Pérez-Jiménez et al., 2008). Los polifenoles también pueden interferir con los sistemas de detoxificación celular, como la superóxido dismutasa, la catalasa o la glutato peroxidasa (Nijveldt et al., 2001). Además, estos compuestos pueden inhibir enzimas generadoras de especies reactivas de oxígeno (Dreosti, 1996; Orallo et al., 2002). Estos

compuestos polifenólicos han sido clasificados dentro de diferentes grupos, en función del número de anillos fenólicos que presentan y de los elementos estructurales que se unen entre sí. Dentro de los compuestos polifenólicos podemos encontrar los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos (figura 10). El Gharras, 2009

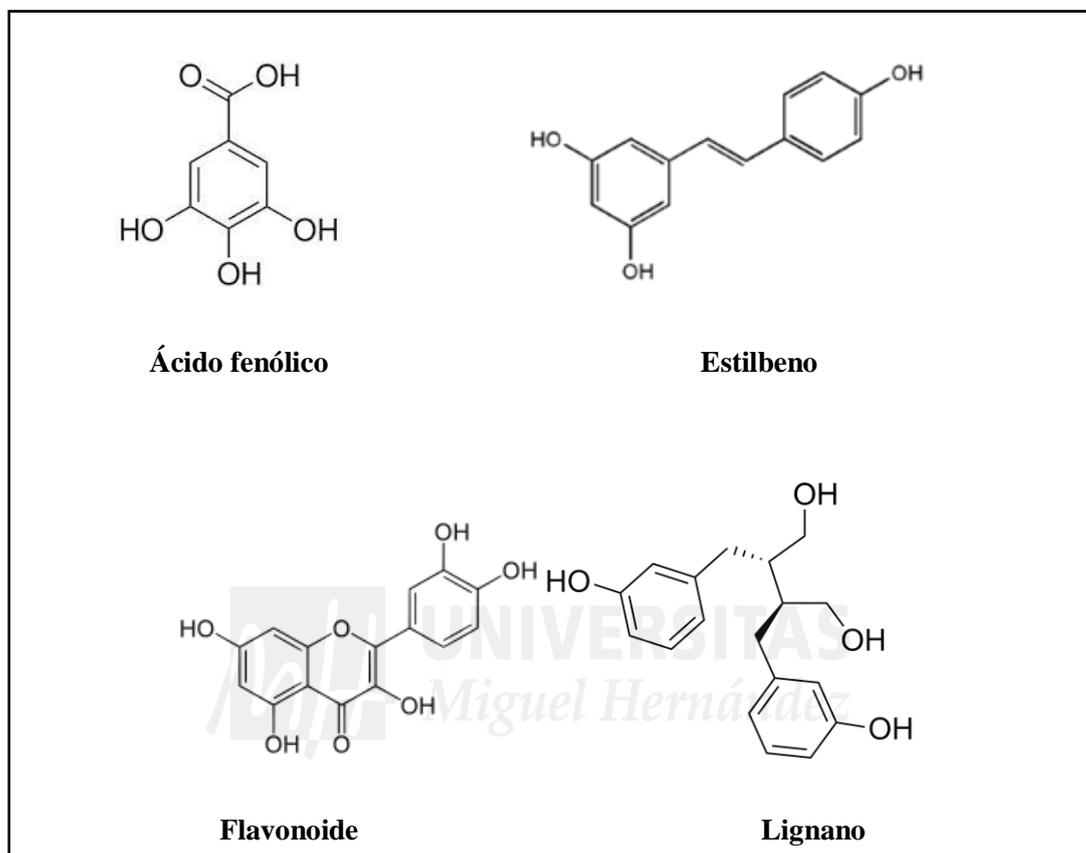


Figura 10. Diferentes estructuras de los compuestos polifenólicos

Como se observa en la figura 10, todos los polifenoles tienen en su estructura uno o más anillos aromáticos con al menos un sustituyente hidroxilo (Bravo, 1998). Su estructura química es propicia para secuestrar radicales libres, debido a la facilidad con la que el átomo de hidrógeno desde el grupo hidroxilo aromático puede ser donado a la especie radical, y a la estabilidad de la estructura quinona resultante que soporta un electrón desapareado (figura 11) (Pannala et al., 2001). La actividad antioxidante de los polifenoles depende, fundamentalmente, del número y la localización de los grupos hidroxilo que contiene en su estructura (Rice-Evans et al., 1996; Cao et al., 1997)

En la siguiente figura 11 se muestra un ejemplo de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos:

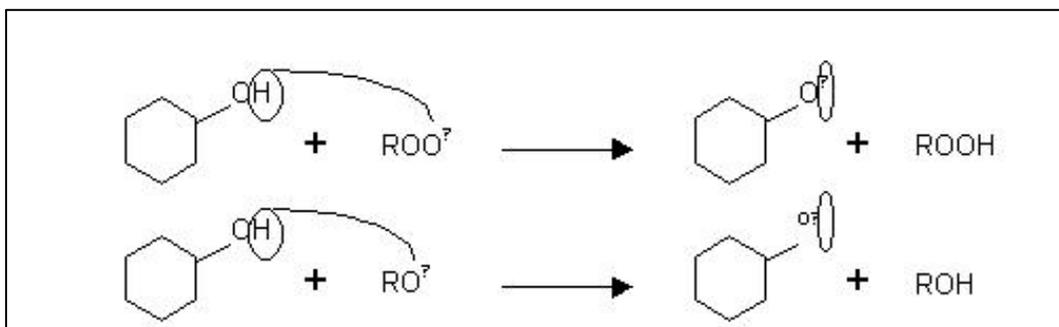


Figura 11. Esquema de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos

Los flavonoides, nombre que deriva del latín “flavus”, cuyo significado es “amarillo”, constituyen la subclase de polifenoles más abundante dentro del reino vegetal. Son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común difenilpirano ($C_6-C_3-C_6$), compuesto por dos anillos fenilo (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano heterocíclico. Todos los flavonoides son estructuras hidroxiladas en sus anillos aromáticos, y son por lo tanto estructuras polifenólicas. Los flavonoides se encuentran mayoritariamente como glucósidos, pero también pueden aparecer en forma libre, también llamados (agliconas flavonoides) (Quiñones et al., 2012). Los flavonoides pueden unirse a los polímeros biológicos, tales como enzimas, transportadoras de hormonas, y ADN; quelar iones metálicos transitorios, tales como Fe^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} ; catalizar el transporte de electrones; y depurar radicales libres (Saskia et al., 1998). Todas estas acciones le aportan su capacidad antioxidante.

La caracterización del aporte de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante de los diferentes alimentos se ha convertido en una herramienta muy útil para la determinación de posibles propiedades saludables de los mismos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo fue determinar la composición química, propiedades fisico-químicas, tecno-funcionales, el contenido en compuestos bioactivos, así como las propiedades antioxidantes de las harinas obtenidas a partir de la piel de plátano macho (*Musa balbisiana*) en dos estados diferentes de maduración, como son: inmaduro y maduro. Para alcanzar el objetivo principal se plantearon los siguientes objetivos particulares:

2.2 Objetivos particulares

- ✚ Para la determinación de la composición química se analizó: el contenido en humedad, proteínas, grasas, cenizas y fibra dietética total.
- ✚ Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas, se determinó el valor de pH, actividad de agua y las propiedades de color.
- ✚ En la determinación de las propiedades tecno-funcionales se estudió la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de aceite, la capacidad de hinchamiento, la capacidad emulsionante, la estabilidad de la emulsión.
- ✚ Determinación del contenido en fenoles totales y flavonoides totales.
- ✚ Para la evaluación de la actividad antioxidante se emplearon cuatro métodos distintos con diferentes mecanismos de acción antioxidante como son la capacidad de secuestro de radicales libres, capacidad de reducción de iones y la capacidad quelante de iones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material Vegetal:

Para el desarrollo del trabajo se empleó como material vegetal las pieles de plátano macho (*Musa balbisiana*) en dos estados diferentes de maduración: verde (HPPV) y maduro (HPPM). Los plátanos en los diferentes estados de maduración fueron adquiridos en un local de la ciudad de Orihuela.

3.2 Obtención de las muestras:

Las muestras de plátano en los dos diferentes estados de maduración fueron trasladadas a las instalaciones de la planta piloto del Grupo de Investigación IPOA de la Universidad Miguel Hernández (Orihuela, Alicante, España) y se procedió al pelado manual obteniendo dos fracciones de piel. Para obtener las harinas a partir de la piel se procedió, por separado a triturar la piel en una “cutter” vertical (Tecator 1094 Homogeneizer, Tekator, Hoganas, Suecia) durante 40 segundos para obtener así partículas de un tamaño uniforme y aumentar la superficie de contacto durante el lavado que se realizó con una proporción de 1L de agua por cada ”kg” de producto. La mezcla se agitó constantemente y la temperatura del agua se mantuvo a 60°C durante los 8 minutos que duró el proceso de lavado para cada una de las 2 fracciones obtenidas (piel plátano maduro, piel plátano verde). Finalizado el lavado, el co-producto se filtró a través de una gasa de algodón. El coproducto sólido se procedió al secado en estufa de aire forzado durante 24 horas a 60°C. Una vez secas las dos fracciones se trituraron en una “cutter” vertical y se envasaron a vacío hasta su uso en bolsas herméticas para su posterior uso. Las dos fracciones obtenidas fueron harina de piel de plátano verde (HPPV) y harina de piel de plátano maduro (HPPM).

3.3 Determinación de la Composición Química:

3.3.1 Humedad

La humedad se obtuvo mediante desecación en una estufa según el método de la AOAC 24.003 (AOAC, 1990) por desecación a 105°C durante 24 horas. Los resultados se expresaron en: g de agua/ 100g de muestra. Cada muestra se analizó por triplicado.

3.3.2 Proteínas

Para la determinación del contenido en proteínas, cuyo resultado se expresó en g de proteína/100g de muestra, se realizó según el método AOAC 24.007 (AOAC, 2000). Utilizando el digestor Büchi Digestion Unit modelo 426 y el destilador Büchi Destillation Unit modelo B-316 (Büchi, Suiza). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y el factor que se usó fue de 6,25 para convertir el porcentaje de nitrógeno en porcentaje en proteína, el cual fue proporcionado directamente por el programa.

3.3.3 Grasas

La determinación del contenido lipídico, se realizó de acuerdo con el método oficial de la AOAC 24.005 (AOAC, 2000), utilizando el extractor Soxhlet J.O, Selecta Mo.6003286 (J.O Selecta S.A., Abrera, Barcelona, España). Los resultados se expresaron en g grasa/100 g de muestra. Las muestras se analizaron por duplicado.

3.3.4 Cenizas

El contenido de cenizas se determinó según el método de la AOAC 24.009 (AOAC, 2000), las determinaciones se realizaron por triplicado y el resultado fue expresado en g cenizas/100g muestra. Para su determinación se utilizó una mufla Habersal modelo 12-PR1300 PAD (Habersal S.A., Caldes de Montibui, Barcelona, España). Las muestras se pusieron a una temperatura de 550°C hasta conseguir cenizas de color blanco. Finalmente este resultado se determina por una diferencia de peso.

3.3.5 Fibra dietética

La determinación del contenido en fibra de las muestras se realizó siguiendo el método gravimétrico-enzimático AOAC 991.43 (AOAC, 1997). Las muestras, previamente desecadas y libres de grasas, son sometidas de forma secuencial a digestión enzimática utilizando α -amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa. Su determinación se realizó utilizando el Digestor enzimático GDE y el Sistema de filtración CSF-6 de VELP-Scientifica (VELP-Scientifica, Milán, Italia), así como el kit enzimático para la determinación de fibra dietética de Sigma-Aldrich.

3.4 Propiedades fisico-químicas:

3.4.1 pH

Para la determinación del pH, se disolvió 1 gramo de muestra en 10mL de agua destilada y desionizada. Se determinó el pH de la suspensión mediante un pH-metro GLP 21 Crison (Eutech Instruments Pte Ltd., Singapur). Realizando cada ensayo por triplicado.

3.4.2 Actividad de agua (Aw)

La medida de la actividad de agua se realizó por triplicado, utilizando un equipo Novasina Thermoconstanter Srpint TH-500 (Pfäffikon, Suiza). A una temperatura de 25 ± 1 °C. Las muestras se introducían en unas cápsulas de plástico, llamadas cápsulas de Novasina y tras la estabilización se tomó directamente la medida.

3.4.3 Color

El color fue estudiado en las coordenadas CIELAB*, en las cuales la coordenada L* proporciona resultados de la luminosidad de las muestras, a* hace referencia a la coordenada verde-rojo y el parámetro b* a la coordenada amarilla-azul. Se consideró de interés calcular y presentar valores de las magnitudes psicofísicas como el croma (C*) y tono (h*), cuyo cálculo se realizó mediante las siguientes expresiones:

$$(C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}) \text{ y } (h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*})$$

Para su determinación se utilizó un colorímetro Minolta CM-2600d (Minolta Camera Co, Osaka, Japón). Utilizando el observador 10° y el iluminante D65, de acuerdo a las recomendaciones de Cassens et al., (1995). Para las mismas, se usaron cristales de baja reflectancia entre las muestras y el equipo, del tipo CR-A51/1829-752 (Minolta Camera Co. Osaka, Japón). Se realizaron 9 medidas por cada muestra según las recomendaciones de la American Meat Science Association (2012).

3.5 Propiedades Tecnofuncionales:

3.5.1 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Para la determinación de la capacidad de retención de agua, 0,50g de cada una de las muestras de plátano sometidas a estudio se dispusieron en tubos previamente rotulados y pesados, se hidrataron con 10mL de agua destilada durante 24h a temperatura

ambiente. Pasado este tiempo, las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. El exceso de sobrenadante se eliminó con micro pipeta, después se pesó el tubo con el precipitado. Las determinaciones se realizaron por triplicado. La CRA se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRA\left(\frac{g}{g}\right) = \frac{MTP - MT - ME}{ME}$$

MTP: Masa de tubo y precipitado (g)

MT: Masa tubo (g)

ME: Masa de fibra (g)

3.5.2 Capacidad de Retención de Aceite (CRO)

Para la determinación de la capacidad de retención de aceite, 0,5g de cada una de las muestras de plátano sometidas a estudio se dispusieron en tubos previamente rotulados y pesados, se añadieron 5g de aceite de girasol y se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 24h. Posteriormente las muestras se llevaron a la centrífuga a 3.000 rpm durante 10 minutos, el exceso de sobrenadante se eliminó con micropipeta y finalmente se pesó el tubo con el precipitado. Las determinaciones se realizaron por triplicado. La CRO se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRO\left(\frac{g}{g}\right) = \frac{MTP - MT - ME}{ME}$$

MTP: Masa de tubo y precipitado (g)

MT: Masa tubo (g)

ME: Masa de fibra (g)

3.5.3 Capacidad De Hinchamiento (SWC)

Para la determinación de la capacidad de hinchamiento, 0,5g de cada una de las muestras de plátano sometidas a estudio se dispusieron en tubos graduados de 10mL y se midió el volumen ocupado por las fibras (V_0), se hidrataron con 5 ml de agua destilada y se agitaron en el vórtex durante 1 min. Se dejó en reposo durante 24h, posteriormente se midió el volumen final de las muestras (V_1). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

$$swc\left(\frac{ml}{g}\right) = \frac{v1 - v0}{\text{peso muestra}}$$

3.5.4 Capacidad emulsificante (CE)

Se pesó en un vaso de precipitado de 150mL, aproximadamente 1g de muestra y se le adicionaron 50mL de agua destilada. La mezcla (1g/50mL) se homogeneizó con un ultraturrax a 8.000 r.p.m durante 2 minutos. A continuación, a la suspensión anterior se le añadieron 50mL de aceite de girasol, se volvió a homogeneizar durante 1 minuto a 8.000 r.p.m. Acto seguido, se pasó a tubos de centrifuga graduados de 10mL de esta mezcla homogeneizada y se centrifugó a 1.500 r.p.m durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se midió el volumen de la emulsión formada (capa superior que se forma en el tubo). La capacidad emulsificante se expresó como mL de volumen de la capa emulsificada, respecto al volumen total que hay en el tubo de centrifuga por 100:

$$AE = \frac{\text{Volumen capa emulsión}}{\text{Volumen total en el tubo}} \times 100$$

3.5.5 Estabilidad de la emulsión (EE)

Las emulsiones formadas en la capacidad emulsificante, se calentaron durante 30 minutos a una temperatura de 80°C. Tras esto, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se llevó a centrifugar a 15.000 r.p.m durante un tiempo de 5 minutos. Después de centrifugar, se midió el volumen de la emulsión. Esta determinación se realizó por triplicado. La estabilidad de la emulsión (mL/100mL de muestra), fue determinada con la expresión siguiente:

$$EE (\%) = \frac{\text{Volumen de emulsión que permanece}}{\text{Volumen de emulsión total}} \times 100$$

3.6 Determinación de compuestos bioactivos:

3.6.1 Extracción

Antes de la determinación de los compuestos bioactivos (contenido fenólico y flavonoico), se realizó una extracción o migración de los mismos para poder determinarlos y que posteriormente también fue empleada en la determinación de la actividad antioxidante.

Para dicha extracción, se cogieron 3 gramos de muestra y se introdujeron en un tubo de centrifuga al cual se le adicionaron 30mL de una mezcla de metanol y agua (80:20). Esta mezcla (con el tubo de centrifuga inmerso en un baño con hielo para evitar

pérdidas del disolvente por calentamiento) se llevó al ultraturrax durante 5 minutos con una velocidad de 18.000 r.p.m. Transcurrido este tiempo, se centrifugó durante 10 minutos a 4°C a una velocidad de 8.000 r.p.m.

Una vez centrifugado, se recogió el sobrenadante y llevó a un matraz. Sobre el residuo sólido que quedó tras quitar el sobrenadante, se adicionaron 30mL de una mezcla de acetona y agua (70:30), se llevó al ultraturrax y a la centrífuga en las mismas condiciones que se han expuesto anteriormente. Tras la centrifugación se recogió el sobrenadante y se mezcló con el anterior y se llevó a un rotavapor hasta sequedad. El residuo obtenido tras esta operación, se resuspendió con 8mL de metanol. Se hizo pasar por un filtro de membrana de 0,45µm para eliminar las partículas sólidas que pudieran quedar en suspensión. Estas extracciones se realizaron por triplicado y se conservaron en condiciones de congelación.

3.6.2 Contenido en fenoles totales (TPC)

La determinación de TPC se realizó usando el reactivo colorimétrico Folin-Ciocalteu siguiendo el método descrito por Singleton et al. (1965).

Se introdujeron 300µL de muestra (los extractos que se obtuvieron según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1) en tubos de ensayo, se le adicionaron 2,5mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (con una dilución 1:10) y se agitó durante 1 minuto. Tras esto, se le adicionó a cada tubo 2mL de Carbonato de sodio al 7,5%. Se agitó durante 1 minuto en el vórtex, se taparon con papel de aluminio y se llevaron a un baño durante 5 minutos a 50°C. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se procedió a medir su absorbancia a 760nm. Se hizo paralelamente un blanco, reemplazando la muestra por agua destilada. La medida se realizó en un espectrofotómetro HP 8451 (Hewlett Packard, Cambridge, UK).

3.6.3 Contenido en flavonoides totales (TFC)

Para la determinación del contenido total de flavonoides, se usó el método con algunas modificaciones descrito por Blasa et al. (2005).

A 1mL de la muestra (los extractos que se obtuvieron según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1) se le adicionó 0,3mL de nitrito sódico al 5%, transcurridos 5 minutos se le añadió 0,3mL de AlCl₃ al 10% y se esperó 6 minutos para neutralizar la

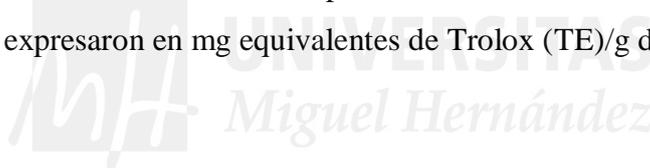
mezcla con 2mL de NaOH 1N. Se esperó 5 minutos y tras esto, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 510nm en un espectrofotómetro HP 8451 (Hewlett Packard, Cambridge, UK). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de rutina (RE)/ g de muestra.

3.7 Determinación de la actividad antioxidante:

3.7.1 Actividad antioxidante utilizando el método del radical 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

Las muestras utilizadas para esta determinación por el método DPPH fueron los extractos obtenidos según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1 (extracción).

Para la correcta determinación, el experimento se llevó a cabo según el procedimiento descrito por Brand-Williams et al. (1995). Se colocaron 200µL de las diferentes muestras en tubos de ensayo y se le adicionó 2mL de una solución de DPPH 0,06 mM. Las muestras se agitaron durante 1 minuto en un vórtex y posteriormente se guardaron en oscuridad durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517nm en un espectrofotómetro HP 8451 (Hewlett Packard). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de Trolox (TE)/g de muestra.



3.7.2 Actividad antioxidante utilizando el radical 2,2'-Azinobis[3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico] (ABTS)

Las muestras utilizadas para esta determinación por el método ABTS fueron los extractos obtenidos según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1 (extracción). La determinación, se llevó a cabo según el procedimiento descrito por Gullón et al. (2015). Se prepararon inicialmente los reactivos A, B y C que fueron necesarios para la determinación de la concentración de mg de trolox en las muestras.

*Reactivo A: se pesaron 38,4 mg de reactivo ABTS y se completó con agua ultrapura hasta un volumen de 10mL.

*Reactivo B: se pesó 33,1mg de $K_2S_2O_8$ y se completó con agua ultrapura hasta un volumen de 5mL.

*Reactivo C: se mezcló en el reactivo A 1 mL de reactivo B y se dejó toda la noche a oscuridad y en agitación.

El reactivo C, se disolvió en agua destilada hasta conseguir una absorbancia entre 0,70 y 0,72 medida a una longitud de onda de 734nm en un espectrofotómetro HP 8451

(Hewell Packard). Una vez se consiguió la dilución dentro del rango indicado de longitud de onda, en una cubeta de 1cm de lado, se colocó 990 μ L de reactivo C diluido y 10 μ L de muestra. Se mezcló con la punta de una micropipeta y se esperó un tiempo de 6 minutos. Tras este tiempo, se midió la absorbancia de las muestras a 734 nm. Los resultados se expresaron como μ g de equivalentes de Trolox por gramo de muestra (mg TE/g muestra).

3.7.3 Actividad antioxidante por reducción del ión férrico (FRAP)

Las muestras utilizadas para esta determinación por el método FRAP fueron los extractos obtenidos según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1 (extracción). La determinación se realizó siguiendo el método descrito por Oyaizu (1986).

En un tubo de ensayo se introdujeron 1000 μ L de muestra con 2,5 mL de tampón fosfato (0,2 M y pH de 6,6) y 2,5mL de ferrocianuro de potasio al 1%. Las muestras se taparon con papel de aluminio y se incubaron en un baño a una temperatura de 50°C durante 20 minutos. Tras esto, se añadió 2,5mL de CCl_3COOH al 10%, se llevó a agitación durante 2 minutos. Se cogieron 2,5mL de la mezcla anterior y se les añadió 2,5mL de agua destilada y 0,5mL de tricloruro de hierro al 0,1%. Se volvió a agitar durante 2 minutos. Se esperó 10 minutos y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 700nm. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de Trolox (TE)/g de muestra.

3.7.4 Capacidad quelante del ión ferroso (FIC)

Las muestras utilizadas para esta determinación por el método “FIC” fueron los extractos obtenidos según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1 (extracción). La determinación se realizó siguiendo el método descrito por (Carter 1971).

Se colocó 1mL de la muestra (los extractos anteriormente mencionados) en un tubo de ensayo y se le adicionó 0,1 mL de $FeSO_4 \cdot 4 H_2O$ con una concentración 2 mM y 3,7 mL de metanol. Se agitó con el vórtex durante un minuto y se esperó durante 5 minutos. Después de este tiempo, se le adicionó 200 μ L de Ferrozina a una concentración 5mM. Se agitó 2 minutos y se esperó 10 minutos. Tras este último tiempo, se procedió a medir la absorbancia a una longitud de onda de 562nm con un espectrofotómetro HP 8451 (Hewell Packard). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de EDTA/ g de muestra.

3.8 Análisis Estadístico

Para determinar si existían diferencias estadísticas en la composición química, propiedades fisicoquímicas, propiedades tecno-funcionales, compuestos bioactivos y actividad antioxidante entre las diferentes muestras se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA). Para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas entre las muestras se aplicó el test de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$). El análisis se realizó con el programa Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.15.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición química

En la tabla 4 se puede observar la composición química de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde y maduro. En cuanto al contenido en humedad (tabla 4) de las harinas obtenidas de la piel del plátano no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre las distintas muestras analizadas, con resultados comprendidos entre 7,12% y 7,124 %.

Tabla 4. Composición química de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde (HPPV) y maduro (HPPM).

	Humedad	Proteínas	Grasas	Cenizas	FDT [¥]	FDI	FDS
HPPV	7,12±0,15 ^a	7,88±0,23 ^b	4,36±0,11 ^b	8,82±0,09 ^b	46,79±0,43 ^b	45,12±0,21 ^b	1,68±0,15 ^b
HPPM	7,24±0,12 ^a	9,53±0,10 ^a	6,00±0,06 ^a	11,30±0,12 ^a	53,47±0,33 ^b	52,19±0,32 ^b	1,28±0,06 ^b

Valores expresados como g/100g materia seca.

FDT[¥]:Fibra Dietética Total; FDI[¥]: Fibra dietética Insoluble; FDS[¥]: Fibra Dietética Soluble.

Valores seguidos por la misma letra dentro de la misma columna indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) según el Test de Rangos Múltiples de Tukey.

En cuanto al contenido en proteínas (tabla 4), la HPPM mostro un valor superior al que tenía la muestra HPPV existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras. Los valores obtenidos para ambos tipos de muestras son muy superiores a los reportados por Anhwange et al. (2009) quien indica que el contenido en proteínas que presenta la piel de banana *Musa sepientum* fue del 3.25%. Sin embargo,

en un estudio realizado por Castelo-Branco et al., (2017) se informa que el contenido en proteínas de la cáscara de plátano verde (*Musa balbisiana*) era de 7,52g, que corresponde a valores muy similares a los obtenidos en este trabajo. En cuanto al contenido en grasa (tabla 4), de nuevo la HPPM mostro un valor superior al que tenía la muestra HPPV existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre ambas muestras. Los valores de grasas que presentan ambas muestras son muy inferiores a los que se pueden encontrar en la literatura científica para este tipo de productos. Así, Castelo-Branco et al., (2017) reporta que el contenido en grasas de la cáscara de plátano verde (*Musa balbisiana*) era de 9,04%. Sin embargo, en un estudio realizado por Agama-Acevedo et al., (2016) se menciona que el contenido de grasa presente en una muestra de piel de plátano fue de 5,00 g/ 100 g muestra. En este componente se registraron todas las sustancias (incluidos los lípidos y pigmentos) que se extraen con éter. Las cáscaras de banana y plátano en su etapa de madurez más verde presentaron un contenido de grasas comprendido entre 22,0g y 6,30 g/100 g de muestra seca (Happi-Emaga et al., 2007). Las diferencias pueden deberse a la variedad y características físicas de cada plantación. Para el contenido en cenizas (tabla 4) de nuevo la HPPM mostro un valor superior al que tenía la muestra HPPV existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre ambas muestras. El alto contenido en cenizas que presentan ambas muestras podría ser un factor limitante en su posterior empleo como ingredientes en el desarrollo de nuevos alimentos, pues un alto contenido en minerales puede dar lugar a que se desencadenen las reacciones de oxidación de forma más rápida, ya que ciertos metales como el hierro o el cobre pueden actuar como catalizadores de estas reacciones de oxidación.

Los resultados de fibra dietética total (tabla 4) no muestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras analizadas, presentados como en los casos anteriores. Los valores obtenidos de fibra dietética total son muy similares a los que mostro Happi-Emaga et al., (2007) en su estudio donde se analizaban las harinas obtenidas de distintas muestras de plátanos y bananas: plátano para postre (*Musa AAA*), plátano (*Musa AAB*), plátano para cocinar (*Musa ABB*), plátano híbrido (*Musa AAAB*) en diferentes estados de maduración. Cabe destacar que en ambas muestras analizadas el mayor porcentaje de fibra correspondía a fibra dietética insoluble concretamente el 96,43% y 97,66% para las muestras HPPV y HPPM respectivamente. La fibra insoluble, está integrada por sustancias (celulosa, hemicelulosa y lignina) que retienen

poca agua y se hidratan poco. Este tipo de fibra predomina en alimentos como el salvado de trigo, chufa, granos enteros y algunas verduras. Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino. Su principal efecto en el organismo es aumentar el volumen de las heces y disminuir su consistencia y su tiempo de tránsito a través del tracto digestivo (López-Marco et al., 2010).

4.2 Propiedades físico-químicas

En la tabla 5 se muestran las propiedades físico-químicas de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde y maduro.

En cuanto a los valores de pH (tabla 5) no se observan diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre las muestras de HPPV y HPPM. Para este parámetro se observa un ligero descenso que podría ser explicado por el estudio de Giraldo et al., (2010) donde se indica que durante la maduración del plátano Dominico-Hartón se obtuvieron resultados de pH progresivos (el pH fue disminuyendo con el tiempo de maduración). El pH puede influir considerablemente en algunas propiedades tecnológicas de las fibras, como: solubilidad, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite etc. No obstante, también ejerce un papel importante en la posible incorporación de determinadas fibras en ciertas matrices alimentarias. El pH también es un parámetro que está relacionado directamente con el deterioro de los alimentos, ya sea por el desarrollo de microorganismos, enzimas o reacciones no enzimáticas (Hemati-Matin et al., 2013).

Tabla 5. Propiedades físico-químicas de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde (HPPV) y maduro (HPPM).

	pH	Aw	Color				
			L*	a*	b*	C*	H*
HPPV	5,35±0,05 ^a	0,523±0,01 ^a	53,37±0,32 ^a	3,94±0,10 ^b	15,87±0,21 ^a	4,45±0,26 ^a	1,32±0,25 ^a
HPPM	5,27±0,10 ^a	0,522±0,01 ^a	43,96±0,38 ^b	4,90±0,17 ^a	13,95±0,32 ^b	4,34±0,19 ^a	1,23±0,128 ^a

Valores seguidos por la misma letra dentro de la misma columna indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) según el Test de Rangos Múltiples de Tukey.

En cuanto a la actividad de agua (tabla 5) entre ambas muestras entre las muestras de HPPV y HPPM no existían diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). En el estudio de Giraldo et al., (2010) determinaron que la actividad de agua durante la maduración, se produjo un descenso debido a que el agua libre del fruto se convirtió en agua ligada (agua de reacción), presente en la hidrólisis y la transpiración. En cuanto al

color (tabla 5), se observa que los valores de luminosidad (L^*) son superiores en la muestra HPPV, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) con la muestra HPPM consecuencia de su estado de madurez. Para la coordenada rojo-verde (a^*) la muestra HPPM presenta mayores valores que la muestra HPPV existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p < 0,05$). Por último, se observa que para la coordenada amarillo/azul (b^*) los valores son superiores en la muestra HPPV, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) con la muestra HPPM. En el estudio realizado por Giraldo et al., (2010) se analizaron los parámetros de color tanto de la pulpa como de la piel del plátano. Estos autores informan que el color de la piel cambiaba de verde a amarillo durante la etapa de maduración, a consecuencia del contenido de clorofila y al incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo (carotenoides y antocianinas).

4.3 Propiedades tecnofuncionales

En la tabla 6 se puede observar las propiedades tecno-funcionales de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración, verde y maduro.

Tabla 6. Propiedades tecnofuncionales de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde (HPPV) y maduro (HPPM).

	CRA	CRO	SWC	CE	EE
HPPV	5,10±0,26 ^a	1,94±0,45 ^a	3,66±0,22 ^a	72,50±0,29 ^b	98,60±0,49 ^a
HPPM	4,53±0,12 ^b	2,06±0,51 ^a	3,85±0,19 ^a	82,50±0,52 ^a	97,57±0,53 ^a

CRA: Capacidad de retención de agua (g agua/g muestra); CRO: Capacidad de retención de aceite (g aceite/g muestra); SWC: Capacidad de hinchamiento (mL/ g muestra); CE: Capacidad emulsificante (mL/100 mL); EE: Estabilidad de la emulsión (mL/100 mL).

Valores seguidos por la misma letra dentro de la misma columna indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) según el Test de Rangos Múltiples de Tukey.

La capacidad de retención de agua (CRA) es la capacidad que tiene la fibra para retener agua tras la aplicación de fuerzas centrífugas externas. Son muchos los factores que intervienen en esta propiedad, como la composición de dicha fibra y la fuente de la cual provenga, el tamaño de partícula de la misma, porosidad y las condiciones de procesado (Nelson, 2013). En este estudio la CRA de la muestra HPPV presentaba valores más elevados que la muestra HPPM existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ambas ($p < 0,05$). La capacidad de retención de aceite (CRO) es la capacidad que tiene la fibra para retener el aceite tras la aplicación de fuerzas centrífugas externas. Al

igual que en la CRA, la capacidad de retención de aceite depende menos de la afinidad de las moléculas de fibra que de la porosidad de la estructura de la fibra (Nelson, 2013). En este estudio, para la CRO no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras HPPM y HPPV. La capacidad de hinchamiento (SWC) se define como la capacidad de la fibra para aumentar su volumen en presencia de agua, estando influenciado por su composición (a mayor cantidad de fibra soluble mayor capacidad de hinchamiento, porosidad y tamaño de partícula) (Lario et al. 2004). Como ocurría para la CRO, en la determinación de la SWC no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras HPPM y HPPV.

La capacidad emulsificante (CE) se define como la habilidad de una molécula para actuar como un agente que facilita la solubilización o dispersión de dos o más líquidos inmiscibles y se ve aumentada por la cantidad de proteínas y aminoácidos. La estabilidad de la emulsión (EE) se define como la habilidad de mantener una emulsión y su resistencia a la ruptura bajo la acción del calor e indica el aceite que ha quedado retenido por la fibra después de que se produzca el colapso (Vázquez-Ovando et al., 2009). La CE y la EE son propiedades funcionales importantes de las proteínas de los alimentos. Factores como el tipo de proteína, la concentración, el pH, la fuerza iónica y la viscosidad del sistema afectan tanto a la CE como a la EE. Cuando se trata de emulsiones del tipo proteína-grasa, varios factores químicos y físicos están involucrados en las propiedades de formación, estabilidad y textura (Khattab y Arntfield, 2009). En este estudio (tabla 6), la capacidad emulsionante de la muestra HPPV fue inferior a la que mostraba la muestra de HPPM existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas. Por otro lado, cuando se analizó la estabilidad de la emulsión no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras HPPM y HPPV.

En la literatura científica no existe mucha información sobre las propiedades tecnofuncionales que presentan las harinas obtenidas de las pieles de los frutos del género *Musa*. Sin embargo, dichas propiedades determinadas en harinas procedentes de co-productos de la industria agroalimentaria está ampliamente estudiado.

4.4. Compuestos bioactivos

Los compuestos de naturaleza polifenólica son componentes muy importantes que se encuentran presentes en frutas y verduras ya que estas sustancias aportan diversas propiedades relacionadas con la calidad como su contribución al sabor dulce, amargo o astringente, al color y sus propiedades nutricionales Tomás-Barberán et al., (2001). De hecho, los compuestos fenólicos poseen un amplio espectro en cuanto a propiedades bioquímicas además de ejercer un efecto beneficioso en la prevención del desarrollo de diversas enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. En la tabla 7 se muestra el contenido en fenoles totales y flavonoides totales de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración, verde y maduro, sometidas a estudio.

Tabla 7. Contenido en fenoles totales y flavonoides totales de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde (HPPV) y maduro (HPPM).

	Fenoles totales	Flavonoides totales
HPPV	3,25±0,08 ^b	2,19±0,12 ^b
HPPM	3,98±0,11 ^a	2,98±0,09 ^a

Valores de fenoles totales expresados como mg de ácido gálico equivalente / g muestra.

Valores de flavonoides totales expresados como mg de rutina equivalentes / g de muestra

Valores seguidos por la misma letra dentro de la misma columna indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) según el Test de Rangos Múltiples de Tukey.

En cuanto al contenido de fenoles totales, la muestra HPPM mostró una mayor concentración de estos compuestos que la muestra HPPV, encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras. De igual modo, para el contenido en flavonoides totales, otra vez la muestra HPPM mostró una mayor concentración de estos compuestos que la muestra HPPV, encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ellas. Los valores de fenoles totales obtenidos en este estudio son muy similares a los que se pueden encontrar en la literatura científica para pieles de frutas del género *Musa*. De este modo, en el estudio realizado por González, Lobo y González (2010) se informa que el contenido en fenoles totales de diversas muestras de piel de plátano estaba comprendido entre 2,3mg y 3,5 mg equivalentes a ácido gálico/g de muestra. De igual modo, Babbar et al. (2011) reporta valores de 3,8mg equivalentes a ácido gálico/g muestra para la cáscara de especies frutales del género *Musa*. Sin embargo, en la literatura científica no hay

información del contenido en flavonoides totales presentes en la piel de de frutas del género *Musa*.

4.5. Actividad Antioxidante

La determinación de la actividad antioxidante de los alimentos es importante para predecir el potencial antioxidante in vitro de los mismos antes de ser ingeridos. Los métodos de determinación de la actividad antioxidante se basan en distintos sistemas generados de radicales libres. Dichos radicales reaccionan con la muestra y en virtud de la capacidad antioxidante de ésta, se inhibirá la generación de los primeros Benavente-García et al., (2000). Así, lo que se determina realmente es el efecto antioxidante, ya que la actividad antioxidante no se puede medir de forma directa. En la actualidad, debido a la complejidad de los procesos de oxidación, no existe un método que refleje de forma completa el perfil antioxidante de una muestra, por lo tanto, se trabaja con varios métodos para facilitar la comparación e interpretación de los resultados. En la tabla 8 se muestra la actividad antioxidante de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde y maduro, sometidas a estudio.

Tabla 8. Actividad antioxidante de las harinas obtenidas de la piel de plátano en los dos estados de maduración verde (HPPV) y maduro (HPPM).

	DPPH	ABTS	FRAP	FIC
HPPV	1,21±0,09 ^b	115,24±6,74 ^b	10,56±0,21 ^b	63,66±0,79 ^a
HPPM	1,53±0,08 ^a	128,77±7,89 ^a	14,89±0,86 ^a	65,89±1.84 ^a

Valores de DPPH, ABTS y FRAP expresados como mg de Trolox equivalente / g muestra.

Valores de FIC expresados como mg de EDTA equivalentes / g de muestra

Valores seguidos por la misma letra dentro de la misma columna indican que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) según el Test de Rangos Múltiples de Tukey.

En la determinación de la actividad antioxidante con el método DPPH la muestra HPPM mostró una mayor actividad de secuestro de radicales que la muestra HPPV, encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras. En el caso de la actividad antioxidante medida con el radical ABTS (tabla 8) ocurre igual que en el caso del DPPH la muestra HPPM mostró una mayor actividad de secuestro de radicales que la muestra HPPV, encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras. Del mismo modo, la capacidad de las muestras sometidas a estudio para reducir el ion férrico (FRAP) mostró que la muestra HPPM presentaba una mayor capacidad de reducción del ion férrico que la muestra

HPPV encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambas muestras. Finalmente, en la determinación de la capacidad para quelar metales (FIC) no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre las muestras de HPPV y HPPM.

Estos valores obtenidos, comparados con algunos trabajos científicos sobre la piel de frutos del género *Musa*, muestran una mayor capacidad antioxidante ya que la literatura se encuentran, por ejemplo, valores de capacidad antioxidante medida por el método DPPH para extractos etanólicos entre 0,0045mg y 0,0059mg equivalentes a trolox/g de piel seca (González, Lobo y González, 2010) los cuales resultan ser más bajos a lo obtenido en la presente investigación con 1,21mg y 1,53mg equivalentes a trolox/g muestra. Por otra parte, en la literatura científica también es posible encontrar valores superiores a los obtenidos en este trabajo, en términos de capacidad antioxidante medida por el método DPPH. Así, Sulaiman et al. (2011) presentan para los híbridos AAB del género *Musa* valores de extractos acuosos de hasta 2,42mg y 2,92mg equivalentes a trolox/g piel de plátano para las variedades Rastali y Nangka respectivamente y valores de extractos metanólicos de hasta 3,1mg y 3,36mg equivalentes a trolox/g para esas mismas variedades de plátano. Una situación similar ocurre para los valores de capacidad antioxidante en extractos etanólicos medidos con el método ABTS donde las pieles del género *Musa* presentan valores de 0,0035mg a 0,0049mg equivalentes a trolox/g de muestra (González, Lobo y González, 2010) y para extractos metanólicos de 5,67mg equivalentes a trolox/g de muestra (Babbar et al., 2011), mientras que el valor obtenido de capacidad antioxidante, medida con el método ABTS, en este trabajo fue de 115,24mg y 128,77mg equivalentes a trolox/g piel para HPPV y HPPM respectivamente. En cuanto a los valores de capacidad antioxidante obtenidos a través del método FRAP 10,56mg y 14,89mg equivalentes a trolox/g muestra para HPPV y HPPM respectivamente, éstos también resultan ser menores a los reportados por Sulaiman et al. (2011) quienes muestran en su investigación que la capacidad antioxidante de extractos acuosos presenta valores de 16,36mg y 13,63mg equivalentes a trolox/g muestra para las variedades Rastali y Nangka respectivamente mientras los extractos metanólicos presentan valores de 6,45mg y 10,32mg equivalentes a trolox/g muestra para las variedades Rastali y Nangka respectivamente.

5. CONCLUSIONES

1. Las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y madura presentan un moderado contenido en proteínas y grasa.
2. Las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y madura presentan un alto contenido en fibra dietética.
3. La mayor parte de esta fibra dietética es fibra insoluble.
4. Los valores de actividad de agua que presentan las harinas las hacen autoestables, pese a presentar valores de pH superiores a 4,5.
5. Las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y madura presentan una muy buena capacidad de retención de agua, capacidad emulsionante y estabilidad de la emulsión.
6. Las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y madura presentan en su composición compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides.
7. Las muestras de harina obtenidas de la piel de plátano en distintos estados de maduración como son verde y madura presentan actividad antioxidante con los cuatro métodos ensayados.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agama-Acevedo, E., Sañudo-Barajas, J. A., Vélez De La Rocha, R., González-Aguilar, G. A., & Bello-Perez, 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.

Alfredo, V. O., Gabriel, R. R., Luis, C. G., & David, B. A. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 168-173.

Amway. (2009). Manual de información de nutrición y salud de productos. Nutrilite.

Anhwange, B. A., Ugye, T. J., & Nyiaatagher, T. D. (2008). Chemical composition of *Musa sapientum* (banana) peels. *Journal of Food Technology*, 6(6), 263-266.

Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (Eds.). (2004). La economía mundial del banano: 1985-2002 (No. 1). Food & Agriculture Org.

Arrieta, A. J., Baquero, U. M., & Barrera, J. L. (2006). Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano 'Papocho' (*Musa ABB Simmonds*). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 48-53.

Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S., & Patil, R. T. (2011). Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*, 44(1), 391-396.

Baret, P., Septembre-Malaterre, A., Rigoulet, M., d'Hellencourt, C. L., Priault, M., Gonthier, M. P., & Devin, A. (2013). Dietary polyphenols preconditioning protects 3T3-L1 preadipocytes from mitochondrial alterations induced by oxidative stress. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 45(1), 167-174.

Belitz, H. D., Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*. Segunda edición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España, 4, 336-360.

Beltrán, G. D., John Alexander Velásquez, T. J. A., & Giraldo, G. G. A. (2010). Caracterización Fisicoquímica de la Maduración del Plátano Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) Rev. Invest. Univ. Quindío Armenia-Colombia (20), 166-170.

Benavente-García, O., Castillo, J., Lorente, J., Ortuno, A., & Del Rio, J. A. (2000). Antioxidant activity of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves. *Food chemistry*, 68(4), 457-462.

Blasa, M., Candiracci, M., Accorsi, A., Piacentini, M. P., Albertini, M. C., & Piatti, E. (2006). Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants. *Food Chemistry*, 97(2), 217-222.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.

Burton, W. G. (1982). Post-harvest physiology of food crops. Longman Group Ltd.
Cao, G., Sofic, E., & Prior, R. L. (1997). Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships. *Free Radical Biology and Medicine*, 22(5), 749-760.

Capítulo 1: Panorama general de la producción y el comercio mundial de banano (Fao.Org)

Carter, P. (1971). Spectrophotometric determination of serum iron at the submicrogram level with a new reagent (ferrozine). *Analytical biochemistry*, 40(2), 450-458.

Cassens, R. G., Demeyer, D., Eikelenboom, G., Honikel, K. O., Johansson, G., Nielsen, T., ... & Sakata, R. (1995). Recommendation of reference methods for meat color. In Proc. 41th ICoMST, San Antonio, USA, Aug. 20-25, pp. 410-411, 1995.

Castelo-Branco, V. N., Guimarães, J. N., Souza, L., Guedes, M. R., Silva, P. M., Ferrão, L. L., ... & Zago, L. (2017). The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20.

Conferencia de las naciones unidas sobre comercio y desarrollo (Fao, Banano, Unctad Infocomm). Perfil elaborado por “Carolina Dawson”

Coultate, T. P. (1998). Manual de química y bioquímica de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España

Dreosti, I. E. (1996). Bioactive ingredients: antioxidants and polyphenols in tea. *Nutrition reviews*, 54(11), S51-S58.

El Gharras, H. (2009). Polyphenols: food sources, properties and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512-2518.

Emaga, T. H., Andrianaivo, R. H., Wathelet, B., Tchango, J. T., & Paquot, M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food chemistry*, 103(2), 590-600.

Escudero, E., P. (2006). Dietary fibre. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 60-71. Diferencias entre antioxidantes y radicales libres.

Faostat: Situación del mercado del banano 2015-2016

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Analysis base don IEA Statistics (Faostat, 2014).

González-Montelongo, R., Lobo, M. G., & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*, 119(3), 1030-1039.

Guarner. (2008). Libro Blanco de la Fibra Dietética. Corporación Alimentaria Peñasanta.

Khattab, R. Y., & Arntfield, S. D. (2009). Functional properties of raw and processed canola meal. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1119-1124.

Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food engineering*, 71(2), 214-222.

Lario, Y., Sendra, E., Garcia-Pérez, J., Fuentes, C., Sayas-Barberá, E., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 113-117.

Matin, H. H., Shariatmadari, F., & Torshizi, M. K. (2013). Various physico-chemical properties of dietary fiber sources of poultry diets. *International journal of agriculture and crop sciences*, 6(18), 1239.

Nap. (2000). Guiding principles nutrition labeling and fortification

Nijveldt, R. J., Van Nood, E. L. S., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., & Van Leeuwen, P. A. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74(4), 418-425.

Nuñez Carrión, T. M. (2017). Snack de plátano.

Orallo, F., Álvarez, E., Camiña, M., Leiro, J. M., Gómez, E., & Fernández, P. (2002). The possible implication of trans-resveratrol in the cardioprotective effects of long-term moderate wine consumption. *Molecular pharmacology*, 61(2), 294-302.

Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. *The Japanese journal of nutrition and dietetics*, 44(6), 307-315.

Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz-Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I., & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41(3), 274-285.

Peris, G. P., Lesmes, B., Cuerda, C. M., & Alvarez, C. (2002). Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr Hosp*, 17(29), 10.

Quiñones, M. Miguel y Aleixandre (2012). *Nutrición hospitalaria*, Madrid Enero/febrero, Vol. 27.

Rice-Evans, C. A., & Miller, N. J. (1996). Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food.

Rodríguez, M. H., & Gallego, A. S. (1999). *Tratado de nutrición*. Ediciones Díaz de Santos.

San-Miguel, A., & Martín-Gil, F. J. (2009). Importancia de las especies reactivas al oxígeno (radicales libres) y los antioxidantes en clínica. *Gaceta Médica de Bilbao*, 106(3), 106-113.

Saskia A.B.E, Van Accker, Bast A. A. L.T (1998). Structural Aspects of Antioxidant Activity of Flavonoids. En: Flavonoids in health and Disease. Ed Marcel Dekker, INC. New York, 9, 221-251.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In Methods in enzymology (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.

Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa sp.*). Journal of Food Composition and Analysis, 24(1), 1-10.

Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(9), 853-876.

Verdú, J. M. (2009). Tratado de nutrición y alimentación humana: Situaciones fisiológicas y patológicas. Oceano/Ergon.

Yang, M. Y., Huang, C. N., Chan, K. C., Yang, Y. S., Peng, C. H., & Wang, C. J. (2011). Mulberry leaf polyphenols possess antiatherogenesis effect via inhibiting LDL oxidation and foam cell formation. Journal of agricultural and food chemistry, 59(5), 1985-1995.

Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. Journal of Food and Nutrition Research, 1(3), 13-23.

Páginas web consultadas:

<http://www.Consumer.com>. (Acceso Diciembre 2014)

http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_platano.pdf

<https://boletinagrario.com/ap-6,platano,316.html>

https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp01_Banana_es.pdf

<https://www.zipmec.com/es/las-variedades-de-banana.html>