



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) en dos niveles de maduración

**ULLAGUARI PORRAS ADRIANA AZUCENA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PACHECO CUN GINGER ESTHEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano
(Musa paradisiaca) en dos niveles de maduración**

**ULLAGUARI PORRAS ADRIANA AZUCENA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PACHECO CUN GINGER ESTHEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano
(Musa paradisiaca) en dos niveles de maduración**

**ULLAGUARI PORRAS ADRIANA AZUCENA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PACHECO CUN GINGER ESTHEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

MATUTE CASTRO NUBIA LISBETH

**MACHALA
2022**

Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) en dos niveles de maduración

por Adriana Azucena Ullaguari Porras

Fecha de entrega: 03-mar-2023 11:16a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2027354695

Nombre del archivo: aras_de_banano_Musa_paradisiaca_en_dos_niveles_de_maduraci_n.pdf (1.92M)

Total de palabras: 15811

Total de caracteres: 87613

Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano (Musa paradisiaca) en dos niveles de maduración

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

5%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, ULLAGUARI PORRAS ADRIANA AZUCENA y PACHECO CUN GINGER ESTHEFANIA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación química y bromatológica de las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) en dos niveles de maduración, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



ULLAGUARI PORRAS ADRIANA AZUCENA

0706717378



PACHECO CUN GINGER ESTHEFANIA

0750571960

UNIVERSITAS
MAGISTRO-
RUM
ET SCHOLAR-
IUM

DEDICATORIA

Durante todo el trascurso de mi vida estudiantil, he estado rodeada de personas que han compartido sus conocimientos y me han brindado su compañía y valioso tiempo, por ello este trabajo de titulación es dedicado a mis padres, hermanos que, aunque la mayoría está lejos los llevo en mi corazón, a mi esposo que ha sido el pilar fundamental en toda mi carrera universitaria, a mis docentes y compañeros de aula con quien he compartido buenos y malos momentos y a su vez he disfrutado de su compañía y ocurrencias.

Adriana Ullaguari

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento primeramente a Dios porque nos ha permitido culminar con éxito toda nuestra carrera universitaria. A nuestros padres, hermanos por el apoyo incondicional, a nuestros docentes por las enseñanzas compartidas durante todo este tiempo, en especial a nuestras tutoras Ing. Lisbeth Matute y Dra. Mercedes Campo y al Ing. Fabián Cuenca quien estuvo a cargo de la asignatura de titulación el cual estuvo dispuesto en todo momento en ayudarnos para la finalización del trabajo de titulación y por último y no menos importante a nuestros compañeros y amigos.

Ginger y Adriana

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la composición química y bromatológica de las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) en dos niveles de maduración, con la finalidad de conocer su calidad química y actividad antioxidante e identificar su potencialidad como ingrediente de alimentos funcionales. Se determinó en el análisis bromatológico un alto contenido de carbohidratos ($57,28 \pm 1,14$ y $63,69 \pm 0,41$), cenizas ($13,18 \pm 0,05$ y $12,69 \pm 0,13$), fibra ($11,53 \pm 0,99$ y $7,31 \pm 0,83$) y grasa ($7,27 \pm 0,27$ y $4,92 \pm 0,39$) tanto en el índice de maduración 6 y 7 respectivamente. El contenido mineral mostró niveles significativamente altos de K ($2,82 \pm 0,57$ y $2,61 \pm 0,02$), Ca ($0,66 \pm 0,17$ y $0,59 \pm 0,08$), Mg ($0,21 \pm 0,01$ y $0,21 \pm 0,01$) tanto en el índice de maduración 6 y 7 respectivamente. Se realizó la extracción por dos métodos, ultrasonido y maceración asistida con agitación, con el fin de buscar el método que favorezca la extracción de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Posteriormente, se usó el método de Folin-Ciocalteu para evaluar el contenido de fenoles totales y la técnica 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP) para cuantificar la capacidad antioxidante. Se encontró que en los dos índices de madurez el método que utiliza ultrasonido favorece la extracción de compuestos fenólicos ($15,128 \pm 0,781$ y $17,189 \pm 0,330$ mg EAG/g) y la capacidad antioxidante tanto en el ensayo DPPH ($9,742 \pm 0,053$ y $9,870 \pm 0,116$ mg TEAC/g) como en el ensayo FRAP ($18,350 \pm 0,401$ y $22,460 \pm 0,151$ mg TEAC/g). Lo cual no ocurre con el índice de maduración, el cual se considera un factor no influyente sobre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante tanto por DPPH como FRAP. Se evidenció que las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) pueden ser utilizadas como ingrediente funcional debido a su actividad antioxidante.

Palabras claves: *cáscaras de banano, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, maceración, ultrasonido.*

ABSTRACT

The chemical and bromatological composition of banana (*Musa paradisiaca*) peels at two ripening levels was evaluated in order to determine their chemical quality and antioxidant activity and to identify their potential as an ingredient in functional foods. In the bromatological analysis, a high content of carbohydrates (57.28 ± 1.14 and 63.69 ± 0.41), ash (13.18 ± 0.05 and 12.69 ± 0.13), fiber (11.53 ± 0.99 and 7.31 ± 0.83) and fat (7.27 ± 0.27 and 4.92 ± 0.39) was determined at both ripening index 6 and 7, respectively. Mineral content showed significantly high levels of K (2.82 ± 0.57 and 2.61 ± 0.02), Ca (0.66 ± 0.17 and 0.59 ± 0.08), Mg (0.21 ± 0.01 and 0.21 ± 0.01) at both maturity index 6 and 7 respectively. Extraction was carried out by two methods, ultrasound and agitation-assisted maceration, in order to find the method that favors the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity. Subsequently, the Folin-Ciocalteu method was used to evaluate the content of total phenols and the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and ferric reduction antioxidant power (FRAP) technique to quantify the antioxidant capacity. It was found that in the two maturity indexes the method using ultrasound favors the extraction of phenolic compounds (15.128 ± 0.781 and 17.189 ± 0.330 mg EAG/g) and antioxidant capacity in both the DPPH assay (9.742 ± 0.053 and 9.870 ± 0.116 mg TEAC/g) and the FRAP assay (18.350 ± 0.401 and 22.460 ± 0.151 mg TEAC/g). This does not occur with the maturation index, which is considered a non-influential factor on the content of phenolic compounds and antioxidant capacity by both DPPH and FRAP. It was shown that banana (*Musa paradisiaca*) peels can be used as a functional ingredient due to their antioxidant activity.

Key words: *banana peels, phenolic compounds, antioxidant capacity, maceration, ultrasound.*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
JUSTIFICACIÓN.....	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	15
MARCO TEÓRICO	16
1.1 Generalidades del banano	16
1.1.1 Banano.....	16
1.1.2 Origen y descripción botánica.....	16
1.1.3 Taxonomía del banano	17
1.2 Composición química y nutricional del banano.....	17
1.3 Composición nutricional de la cáscara de banano	18
1.4 Composición química de la cáscara de banano.....	18
1.4.1 Compuestos fenólicos	18
1.4.2 Capacidad antioxidante	19
1.5 Alimentos funcionales	20
1.6 Métodos de extracción	20
1.6.1 Maceración dinámica	21
1.6.2 Ultrasonido.....	21
1.7 Método para la determinación de los compuestos fenólicos	22
1.7.1 Método Folin-Ciocalteu	22
1.8 Método para la determinación de la capacidad antioxidante	22
1.8.1 Ensayo DPPH (capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo)	22
1.8.2 Ensayo FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica).....	23
METODOLOGÍA.....	24
2.1 Materia prima.....	24

2.2 Ubicación de la investigación	24
2.3 Preparación de la muestra	24
2.4 Análisis químicos la pulpa de banano.....	24
2.5 Análisis de la composición proximal de las cáscaras de banano	25
2.6 Diseño experimental para condiciones de extracción	25
2.7 Preparación de extractos	26
2.8 Preparación de las muestras para la determinación de fenoles y capacidad antioxidante.....	26
2.8.1 Determinación de fenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu.....	26
2.8.2 Determinación de la capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo (DPPH) equivalente a trolox (TEAC, por sus siglas en ingles)	27
2.8.3 Determinación del poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP-TEAC)	28
Preparación de reactivos:	28
2.9 Análisis estadístico.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.1 Análisis químicos.....	30
3.2 Análisis de la composición proximal	31
3.3 Análisis de la composición de minerales	34
3.4 Determinación del tratamiento que favorece la extracción de compuestos de origen fenólico y la capacidad antioxidante en cáscaras de banano con índice de maduración 6 y 7.....	36
3.5 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre el contenido fenólico de los extractos de cáscara de banano	38
3.5 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo FRAP y DPPH de los extractos de cáscara de banano.....	41
3.5.1 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo FRAP de los extractos de cáscara de banano.....	41
3.5.2 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo DPPH de los extractos de cáscara de banano	45
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Media y desviación estándar de pH y SST de las muestras de pulpa de banano.	30
Tabla 2: Media y desviación estándar de los análisis proximales de las muestras de cáscara seca del banano de índice de maduración 6 e índice de maduración 7.....	31
Tabla 3: Media y desviación estándar de los análisis de la composición de minerales de las muestras de cáscara seca del banano de índice de maduración 6 e índice de maduración 7.	34
Tabla 4: Media y desviación estándar del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en muestras de extracto de cáscara de banano.	37
Tabla 5: Análisis de varianza de la concentración de fenoles totales en muestras de extracto de cáscara de banano.	38
Tabla 6: Prueba LSD para fenoles totales por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.	39
Tabla 7: Prueba LSD para fenoles totales por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.....	40
Tabla 8: Análisis de varianza de la capacidad antioxidante obtenidos por el método FRAP en muestras de extracto de cáscara de banano.....	42
Tabla 9: Prueba LSD para capacidad antioxidante (FRAP) por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.....	43
Tabla 10: Prueba LSD para capacidad antioxidante (FRAP) por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.....	44
Tabla 11: Análisis de varianza de la capacidad antioxidante obtenidos por el método DPPH en muestras de extracto de cáscara de banano.	45
Tabla 12: Prueba LSD para capacidad antioxidante (DPPH) por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.	46
Tabla 13: Prueba LSD para capacidad antioxidante (DPPH) por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.....	47

INTRODUCCIÓN

Los alimentos funcionales generalmente se derivan de los alimentos de origen vegetal que son una fuente rica en compuestos bioactivos como vitaminas, minerales, compuestos fenoles y antioxidantes (Sajid et al., 2021).

Algunos alimentos como las frutas, semillas, cereales y vegetales, así como los fitoquímicos son fuentes importantes de componentes funcionales. Más allá de promover nutrientes esenciales estos alimentos contienen antioxidantes los cuales se consideran funcional porque demuestran ser promotores de la salud y a su vez reduciría la morbilidad y mortalidad al mismo tiempo que eleva la calidad de vida de la población (Sajid et al., 2021).

El banano es un cultivo alimentario ampliamente utilizado a nivel mundial, posee un alto valor nutricional y una fuente importante de compuestos bioactivos; en este caso, las cáscaras tienen una concentración comparativamente más alta de compuestos fenólicos y, por ende, un mayor potencial antioxidante que la pulpa (Sinhg et al., 2016).

Los compuestos fenólicos son sustancias que juegan un papel importante en la actividad antimicrobiana y los antioxidantes ayudan a prevenir la oxidación, tanto en el sistema alimentario como en el cuerpo humano (Kanta et al., 2017). Según Aquino et al., (2016) manifiesta que la etapa de maduración de los bananos influye en el porcentaje del contenido fenólico y de la actividad antioxidante, a mayor índice de madurez mayor son los compuestos bioactivos.

Las técnicas de extracción se basan en el poder de extracción con el disolvente apropiado que puede ser etanol, metanol, agua o una mezcla junto con la acción de calor y o mezcla para la obtención de los compuestos bioactivos. Para la identificación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos se utilizó la maceración asistida, la cual toma un tiempo más prolongado y el ultrasonido que aceleró el proceso de extracción, una vez obtenido el extracto, este se concentra hasta eliminar el solvente (Mohd et al., 2022).

Este trabajo experimental tiene la finalidad de evaluar el efecto que tiene el índice de maduración del banano y los métodos de extracción, sobre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de las cáscaras de banano e identificar el posible potencial de este material vegetal como ingrediente de alimentos funcionales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de componentes con acción antioxidante como los compuestos fenólicos en la dieta humana se ha asociado con la protección frente a algunas enfermedades crónico-degenerativas asociadas al estrés oxidativo a nivel celular en el organismo, provocado por daños de las moléculas de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos a causa de radicales libres. Además, estudios recientes sobre compuestos antioxidantes han demostrado sus propiedades sinérgicas y protectoras contra enfermedades degenerativas, como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedad de Parkinson y Alzheimer (Costa et al., 2016).

El banano es el segundo producto de exportación de Ecuador después del petróleo; alrededor del 95 % de los desechos generados por los productores no se utilizan de manera efectiva, ya que su producción se utiliza, principalmente, para la comercialización o como una opción de alimentación doméstica, por lo que después de usar la fruta, se distribuye el material residual para la cosecha por medio de su descomposición (Mondragón et al., 2018).

En pruebas epidemiológicas realizadas por Espinosa & Santacruz, (2019) estos demostraron que el consumo de frutas aporta cantidades suficientes de compuestos que protegen el sistema inmunológico y ayudan a prevenir el desarrollo de enfermedades coronarias.

La pulpa y cáscara del banano contienen compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides, aminas biogénicas, fitoesteroles y otros fitoquímicos. Además, tienen una mayor capacidad antioxidante que varias bayas, hierbas y vegetales. (Bashmil et al., 2021). Las cáscaras de banano contienen muchos nutrientes y minerales (fósforo, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc), además contienen abundantes constituyentes orgánicos (lípidos, fibra, cenizas, hidratos de carbono y proteínas) como fuente principal de muchos compuestos bioactivos con diferentes funciones (Mohd et al., 2022).

Un estudio del contenido de compuestos fenólicos totales en la cáscara del banano puede servir para reducir el impacto de los subproductos en el medio ambiente y, a su vez, para

añadir valor a los residuos industriales del procesado del banano. Una extracción eficaz sería beneficiosa para recuperar los ingredientes funcionales de forma sostenible (Espinosa & Santacruz, 2019).

Según Saldaña et al., (2021) refiere que los alimentos funcionales son aquellos que, además de su valor nutricional, poseen compuestos biológicamente activos con efectos potenciales que reducen el riesgo de desarrollar ciertas enfermedades. Para el diseño de alimentos funcionales se ha estudiado diferentes ingredientes activos que le otorgan distintas propiedades asociadas a efectos beneficiosos para una mejor calidad de vida. Por esta razón durante el presente trabajo se propone estudiar la calidad química y bromatológica de las cáscaras de banano para identificar su potencialidad como ingrediente de alimentos funcionales.

JUSTIFICACIÓN

Los alimentos que contienen fuentes importantes de antioxidantes son las frutas y verduras; estos contribuyen a la salud y calidad de vida. En particular, reducen el riesgo de enfermedades crónicas degenerativas (enfermedades cardíacas, enfermedades cerebrovasculares y ciertos tipos de cáncer) (Toydemir et al., 2022).

La incorporación de compuestos antioxidantes en la dieta previene la acción nociva de los radicales libres sobre las proteínas, el ácido desoxirribonucleico y los lípidos y, a su vez, reduce el estrés oxidativo (Mohd et al., 2022).

Los antioxidantes cumplen un papel importante porque ayudan a inhibir la oxidación en los productos alimentarios y ralentizan los procesos de oxidación de proteínas y la interacción entre carbohidratos y derivados lipídicos con las proteínas; en el cuerpo humano, actúan para prevenir el daño celular por oxidación de los radicales libres, los cuales son responsables de diversas enfermedades y del envejecimiento (Kanta et al., 2017).

Hoy en día, se emplean subproductos agrícolas como fuentes de ingredientes funcionales. Uno de los cultivos que más desperdicios generan es el banano, un cultivo muy importante a nivel nacional y mundial. La producción de este plantío da lugar a una cantidad ingente de residuos después de cada cosecha y durante el procesamiento para obtener los diferentes subproductos (Mohd et al., 2022).

Las cáscaras de banano contienen una amplia gama de compuestos químicos y bioactivos especialmente compuestos fenólicos que le otorgan capacidad antioxidante a esta especie vegetal (Mohd et al., 2022). Por lo tanto, en este trabajo se procura extraer y cuantificar compuestos fenólicos de la cáscara, la cual no es una parte comestible de la fruta y de la cual poco se ha estudiado con respecto a su calidad química y su potencial como matriz para extraer compuestos a los que se asocie la capacidad antioxidante que permita convertir a este subproducto en un ingrediente funcional.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) en dos niveles de maduración a través de su composición química, bromatológica y capacidad antioxidante, para su posible aprovechamiento como ingrediente en alimentos funcionales.

Objetivos específicos

- Determinar la calidad bromatológica de las cáscaras de banano en dos índices de maduración mediante la cuantificación de macro y micronutrientes.
- Analizar comparativamente el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las cáscaras de banano en dos índices de maduración y mediante dos métodos de extracción.

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del banano

Se lo considera como una fruta básica en la alimentación humana debido a su bajo precio, sabor agradable, disponibilidad en todo el año, múltiples aplicaciones gastronómicas, la sensación de saciedad que produce al ser consumido, así como por su elevado valor nutritivo en potasio, hierro, vitamina K, etc (Ramos et al., 2016).

1.1.1 Banano

El banano es uno de los cultivos más importantes de las plantas tropicales; es la mayor planta herbácea del mundo. Se encuentra entre los diez cultivos más importantes; además el banano es el cuarto cultivo con mayor producción en el mundo, con más de 7 millones de toneladas, producidas mediante sistemas de cultivo convencionales (Pyar & Peh, 2018).

El banano es una fruta climatérica que se consume, sobre todo, cuando la fruta está madura; el banano maduro e inmaduro también se puede transformar en aperitivos y zumo. El banano es muy perecedero y sufre un rápido deterioro tras la cosecha; por este motivo, se generan grandes cantidades de residuos antes de su consumo y también se pierden grandes cantidades de fruta durante su comercialización debido a una mala manipulación posterior a la cosecha (Ibiyinka et al., 2021).

1.1.2 Origen y descripción botánica

La planta de banano pertenece a las musáceas y su nombre científico es *Musa paradisiaca*, siendo una planta de la familia de las herbáceas que está presente principalmente en países tropicales. El nombre “banano” es originario de África. La planta alcanza una altura de 2 a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro (Mendoza & Vera, 2019).

La planta consta de largos tallos de hojas superpuestas y tiene un tallo de 1,22 a 6,10 m de altura; tiene una vida de unos 15 años. Los frutos crecen en racimos, cada banano del racimo tiene un diámetro aproximado de 2,54 cm. La fruta del banano necesita entre dos meses y medio y cuatro meses después del brote para estar lista para la cosecha, es decir, entre ocho y doce meses después de la plantación (Hospital et al., 2018).

1.1.3 Taxonomía del banano

El banano es un tipo de planta herbácea monocotiledónea que pertenece a la familia *Musaceae*, sus variedades se clasifican según su composición genómica en *Musa cavendish* (bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos) (Rojas et al., 2019).

1.2 Composición química y nutricional del banano

La capacidad antioxidante de muchas frutas, incluidas las bananas, depende de la variedad, el grado de madurez y la etapa de maduración. El proceso de maduración de las frutas carnosas afecta a los cambios en la composición química y nutricional. Se ha informado de cambios en la capacidad antioxidante y en la composición química del banano durante la maduración (Fernando et al., 2014). Las partes de la pulpa y la cáscara incluyen compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides, aminas biogénicas, fitoesteroles y otros fitoquímicos. El banano tiene un mayor potencial antioxidante que varias bayas, hierbas y vegetales, atribuido a la prevalencia de estos componentes. Entre los carotenoides presentes en el banano, el α -caroteno, el β -caroteno y la β -criptoxantina tienen actividad provitamina A, mientras que otros, como el licopeno y la luteína, tienen una capacidad antioxidante significativa (Bashmil et al., 2021).

Además, la pulpa del banano contiene diversas vitaminas como catequinas, epicatequinas, lignina y taninos, además de antocianina. Las catequinas (epicatequina y galocatequina) son las más prevalentes en la pulpa cuando se analizan por cromatografía líquida (Bashmil et al., 2021). El fruto de banano es una rica fuente de carbohidratos, fibra beneficiosa y es baja en grasas y proteínas. También es rica en minerales como hierro, potasio, magnesio, fósforo y calcio (Caicedo et al., 2019).

1.3 Composición nutricional de la cáscara de banano

Las cáscaras de banano son ricas en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados (Gómez Montaña et al., 2019) Asimismo, los componentes minerales de la cáscara de banano son fósforo, hierro, calcio, magnesio y sodio. Sin embargo, los niveles de zinc, cobre, potasio y manganeso son muy bajos (Hikal et al., 2022).

1.4 Composición química de la cáscara de banano

1.4.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se dividen en varias clases, de las cuales, los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos son los principales compuestos fenólicos en los alimentos. Las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos se atribuyen a su capacidad para eliminar los radicales libres y quelar los iones metálicos involucrados en su producción. Por lo tanto, la actividad antioxidante de los ácidos fenólicos se debe a su capacidad para donar iones de hidruro (es decir, electrones desapareados) y reubicarlos dentro de la estructura aromática (Corona-Jiménez et al., 2016).

Es un estudio realizado por Bashmil et al., (2021) encontraron muchos fenoles en las cáscaras de banano como ferúlico, sinápico, salicílico, gálico, p-hidroxibenzoico, vainílico, siríngico, gentísico y p-cumáricos como componentes mayoritarios; cabe recalcar que la concentración de ácido ferúlico es la más alta entre los fenoles encontrados. En el mismo estudio también encontraron dentro de la pulpa los derivados hidroxicinámicos, como el ácido ferúlico- hexósido. Dentro de estos compuestos fenólicos también tenemos a los flavonoides (quercetina, miricetina, kaempferol y cianidina), los cuales poseen efectos biológicos y por ende proporcionan beneficios para ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardíacas (Gómez Montaña et al., 2019). Por ende, tanto las cáscaras como la pulpa de las bananas son excelentes fuentes de compuestos fenólicos.

Según los informes de Singh et al (2016), la cáscara de banano es una fuente rica en compuestos fenólicos con un contenido total de hasta 30 mg/g de materia seca (MS) y se demostró que los compuestos fenólicos son los principales antioxidantes dentro de la cáscara.

1.4.2 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son un grupo de compuestos medicinales que se usan como aditivos alimentarios en la que retrasa la oxidación de los lípidos y/o otras moléculas previniendo la formación o progresión de reacciones oxidativas. Además, los antioxidantes son aquellos que ralentizan, retardan o previenen la oxidación de los radicales libres (Can et al., 2017).

La capacidad antioxidante de la cáscara de banano se debe a la presencia de los compuestos fenólicos, antocianinas, carotenoides de catecolamina, esteroides y triterpenoides ya que el banano es considerado como alimento muy rico en antioxidantes (Tai et al., 2021). Varios estudios recientes han demostrado que la cáscara de banano contiene compuestos antioxidantes potenciales como vitamina A, vitamina C, vitamina E, carotenoides y β -caroteno los cuales son responsables de aumentar el poder oxidativo (Singh et al., 2016). Este poder oxidativo es aquel que protege los lípidos, proteínas y ADN del daño celular, por lo tanto, la ingestión de estas sustancias bioactivas provenientes de las frutas y verduras ayudarán a la prevención y/o reducción de las enfermedades degenerativas (Toydemir et al., 2022)

En otros estudios realizados por Singh et al (2016) mencionan que las cáscaras de banano poseen los siguientes antioxidantes: dopamina, L-dopa, ácido ascórbico, rutina, carotenos, tocoferoles y catecolaminas. Así mismo, resalta que el poder antioxidante de estas cáscaras se debe a las aminas biógenas dopamina, L-dopa, y las cantidades disminuyen conforme avanza la maduración.

1.5 Alimentos funcionales

Los alimentos funcionales son alimentos que contienen ingredientes, sean nutrientes o no, que afectan selectivamente una o varias funciones corporales y tienen efectos adicionales más allá de su valor nutricional (Saldaña et al., 2020).

En la investigación realizada por Toydemir et al., (2022) mencionan que las frutas y verduras está cobrando cada vez más importancia en la nutrición humana por ser alimentos potencialmente funcionales, debido a que aportan beneficios como la prevención o retraso de la incidencia de enfermedades crónicas debido a sus compuestos antioxidantes. Se han identificado varios componentes funcionales valiosos en las cáscaras de las frutas y verduras debido a sus propiedades nutricionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Zahid et al., 2021)

En otra investigación realizada por Coronado et al., (2015) alude que los alimentos que contienen antioxidantes son: los que contiene vitamina C: tomates, acelgas, algunos cítricos (limón, naranja, mandarina), además kiwi, fresa, guayaba la cual contienen además polifenoles y vitaminas A y C; con β -caroteno: mango, melón, zanahoria, espinacas; los de vitamina E: arroz integral, aguacate, frutas secas y aceite de oliva; con flavonoides: vino, manzana y peras. Otros que poseen antioxidantes están la cebolla, el ajo, avena, hierbabuena, menta y albaca. Asimismo, menciona que el noni contiene altas cantidades, mientras que los tomates de árbol presentan cantidades moderadas de antioxidantes. Otro alimento que contiene antioxidantes y se consume con mucha frecuencia es el cacao y sus derivados. Luego del estudio que han realizado sobre las cáscaras y la pulpa de cada alimento mencionado, se puede decir que las cáscaras son las que tienen mayor capacidad antioxidantes que la pulpa.

1.6 Métodos de extracción

La extracción con solventes es el método más utilizado para separar compuestos fenólicos de diferentes matrices. Los medios de extracción más utilizados son las soluciones acuosas de acetona, etanol y metanol. Los disolventes orgánicos se pueden eliminar de los extractos mediante rotaevaporación. Varios factores, como el tipo y la concentración

del solvente y el tiempo de extracción, pueden afectar la eficiencia de la técnica y, por lo tanto, la actividad biológica del extracto. Una de las desventajas de la extracción por solvente es que lleva tiempo, por lo que la extracción puede ser asistida por ultrasonido, microondas y métodos enzimáticos (Rojas-Llanes et al., 2015).

Los métodos tradicionales como la maceración, la extracción Soxhlet y el calentamiento a reflujo, aunque son técnicas efectivas, corren el riesgo de degradar los compuestos objetivo debido al uso de altas temperaturas y largos tiempos de extracción (Wong-Paz et al., 2020).

1.6.1 Maceración dinámica

Es una técnica de extracción convencional entre sólido-líquido en la que los compuestos bioactivos presentes en la muestra se disuelven completamente sumergiendo la muestra en un solvente a temperatura ambiente durante 24 horas con una agitación intermitente (Irfan et al., 2022). Los principales disolventes utilizados para la extracción de compuestos fenólicos son metanol, etanol, agua o mezclas de estos disolventes (Cacique et al., 2020).

Una vez finalizada la extracción, se debe filtrar el remanente y posteriormente llevar el producto a evaporación al vacío (Bitwel et al., 2023). Este método es utilizado principalmente para obtener compuestos bioactivos a partir de productos vegetales, pero presenta algunos inconvenientes como menor eficiencia y rendimiento de extracción (Safdar, 2017).

1.6.2 Ultrasonido

El ultrasonido o sonicación es una técnica moderna de extracción en la que se coloca el material vegetal con un solvente en matraces, por un período preestablecido; durante el cual se genera ondas de sonido que hacen que las paredes celulares de la muestra se rompan y liberen estos compuestos fenólicos. Esta extracción ultrasónica es más eficiente que otros métodos de extracción tradicionales, producen entre un 6 % y un 35 % más de polifenoles (Irfan et al., 2022). Uno de sus puntos fuertes es que se pueden tomar

múltiples muestras simultáneamente en un período de tiempo relativamente corto. Sin embargo, el extracto debe ser decantado o filtrado (Arceusz et al., 2013).

1.7 Método para la determinación de los compuestos fenólicos

1.7.1 Método Folin-Ciocalteu

Es un método utilizado para la determinación y cuantificación de fenoles totales en alimentos y vegetales. El ensayo de Folin-Ciocalteu (FC) se utilizó originalmente para cuantificar la tirosina en proteínas; con el tiempo, se modificó para permitir el análisis de compuestos polifenólicos en diferentes tipos de extractos de plantas. El reactivo principal para este ensayo consiste en ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico comúnmente conocida como “reactivo FC”, a partir de la cual se generan iones de molibdato y tungsteno; cuanto mayor es el contenido de iones de molibdato, mejores son como agentes reductores. La reacción se lleva a cabo en condiciones básicas (pH 10), con la finalidad de que se genere un ion fenolato que reduzca al FC mediante una reacción de tipo óxido/reducción y permita la formación de un complejo de Mo(V) de color azul cuya absorbancia se mide a una longitud de onda de 765 nm (Muñoz-Bernal et al., 2017).

1.8 Método para la determinación de la capacidad antioxidante

Los métodos actuales para determinar la actividad antioxidante se basan en la determinación espectrofotométrica a través de mecanismos de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y transferencia de electrones individuales (SET). Estos ensayos incluyen el ensayo del ácido 2,2'-azino bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS), el ensayo del 2,2-difenil-1-(2,4,6-trinitrofenil) hidrazilo (DPPH) y el ensayo del potencial antioxidante reductor férrico (FRAP) (Sirivibulkovit et al., 2018).

1.8.1 Ensayo DPPH (capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo)

El ensayo DPPH es sencillo y uno de los métodos más utilizados. Se basa en la reducción del radical DPPH violeta por el antioxidante mediante un mecanismo de transferencia de

átomos de hidrógeno para provocar un cambio de color a moléculas DPPH estables de color amarillo pálido. El radical DPPH violeta restante se mide con un espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm para determinar la actividad antioxidante. Esta prueba proporciona información útil sobre la capacidad del antioxidante para donar átomos de hidrógeno, sobre la capacidad reductora de la reacción y sobre el mecanismo entre el radical libre y el antioxidante. La prueba también es sencilla, ya que se asocia únicamente con el reactivo del radical DPPH y el antioxidante (Sirivibulkovit et al., 2018).

1.8.2 Ensayo FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica)

Este método se basa en la capacidad de reducción del hierro (FRAP, del inglés “Ferric Reducing Antioxidant Power”, que evalúa el efecto combinado de las defensas antioxidantes no enzimáticas que se encuentran presentes en los fluidos biológicos como un índice de la capacidad de resistir el daño oxidante. El método se lleva a cabo en condiciones ácidas (pH 3,6). En presencia de antioxidantes, la forma férrica del compuesto hierro-tripiridyl-triazina (Fe^{3+} -TPTZ) se reduce a la forma ferrosa (Fe^{2+} -TPTZ). El compuesto Fe^{2+} -TPTZ produce una coloración azul intenso con un máximo de absorbancia de 593 nm (Benítez-Estrada et al., 2020).

METODOLOGÍA

2.1 Materia prima

Se trabajó con cáscara de banano de dos etapas de maduración, que son las etapas 6 (“totalmente amarillo”) y 7 (“amarillo con puntas color café”), según la escala de Von Loesecke, cosechadas en la finca “Luis” ubicada en la ciudad de Santa Rosa, sitio San José, Provincia de El Oro, Ecuador.

2.2 Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en los laboratorios de investigación de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud y los de Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

2.3 Preparación de la muestra

Las cáscaras de banano se lavaron con agua potable. Luego se preparó una solución de 6000 ml de agua con 6 ml de desinfectante comercial “star bac domestic” con registro sanitario 2234-ALN-0614 para desinfectar las cáscaras; las mismas se sumergieron en la solución por 5 minutos. Después se las sumergió en una disolución 1,5% de ácido cítrico (75 g), 1 % de ácido ascórbico (50 g), 0,5 % de ácido tartárico (25 g) durante 10 minutos. Una vez listas las cáscaras de banano, se secaron en la estufa (MEMMERT UF 55, Alemania) a 45 °C, con una ventilación y trampilla abierta al 100 % por 24 a 48 h. Al finalizar la etapa de secado, se molieron en un triturador de alimentos y posteriormente en un tamiz (HUMBOLDT U.S.A. STANDARD SIEVE) malla N°. 100 se obtuvo harina con un tamaño de partícula igual a 150 micras. Finalmente, se las almacenó en fundas plásticas de cierre hermético y fueron llevadas a un desecador.

2.4 Análisis químicos la pulpa de banano

A la pulpa de banano de cada una de las muestras se le determinó sólidos solubles (SST) mediante (NTE INEN 380:1985-12) utilizando un refractómetro (HI 96801) escala de 0

a 85 °Brix; el valor del pH se determinó mediante NTE INEN 389:1985-036) utilizando un pHmetro (Bante 900P). El grado de maduración del material vegetal se obtuvo comparando los resultados de estos análisis con las publicaciones de otros autores y la escala de color de Von Loesecke (Von Loesecke, 1950) que consiste en una escala del 1 al 7 (Anexo 1), siendo 1 el color que representa el estado más inmaduro de la escala y 7 el estado completamente maduro de la misma.

2.5 Análisis de la composición proximal de las cáscaras de banano

Se determinó la composición proximal por triplicado de las dos muestras de cáscaras de banano en cuanto a humedad, grasa, fibra, proteína, cenizas y carbohidratos. El porcentaje de humedad se realizó mediante el analizador de humedad (MB120 MOISTURE ANALYZERS, OHAUS). Para la determinación del contenido de grasa, fibra y cenizas se llevaron a cabo mediante los métodos oficiales normalizados de la AOAC, (1990). En la determinación de ceniza se utilizó la técnica y procedimiento (923.03) con modificaciones, las muestras se colocaron en un horno de mufla durante 6 horas. En la extracción por disolvente para grasa (920.39), con modificaciones, se adicionó 200 ml de hexano a cada muestra. Para la determinación de fibra cruda mediante (NTE INEN 522: 2013). La determinación del contenido de proteínas y de minerales se los realizó en el laboratorio NEMALAD S.A en la ciudad de Machala, donde utilizaron el método de digestión húmeda para determinar el porcentaje de ciertos minerales como el sodio, zinc, magnesio, calcio, hierro y potasio presentes en la cáscara de banano.

2.6 Diseño experimental para condiciones de extracción

Se consideró un diseño factorial 2^2 con la finalidad de establecer las mejores condiciones de extracción, considerando como variables dependientes al método de extracción (maceración dinámica y ultrasonido) y el índice de maduración (índice de maduración 6 e índice de maduración 7) teniendo como variables respuestas (el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH y FRAP).

2.7 Preparación de extractos

Se pesaron 20 g de cada una de las muestras de cáscara de banano. A continuación, se añadieron 400 ml de una mezcla etanol: agua (80:20 v/v). La extracción se llevó a cabo mediante dos métodos: ultrasonido en (ULTRASONIC BATH 5.7 L, FISCHER SCIENTIFIC) durante 30 minutos a temperatura ambiente y como segunda opción por maceración con agitación (INFORS HT CELLTRON) durante 24 horas a 100 rpm. Transcurrido estos tiempos, los extractos se filtraron y los disolventes se evaporaron hasta secarse en un rotoevaporador (HEIDOLPH LABOROTA 4001 efficient). Los extractos secos se guardaron en refrigeración a 4 °C para su posterior evaluación, protegiéndolos de la luz con papel aluminio.

2.8 Preparación de las muestras para la determinación de fenoles y capacidad antioxidante

Opción 1: Se procedió a pesar 0,3 g de extracto seco de cada una de las muestras y se añadió la disolución hidroalcohólica (80:20 v/v) para luego ser llevado a ultrasonido hasta lograr su total solubilización. Luego se trasvasó a un balón volumétrico aforado a 10 mL y se enrasó con la disolución hidroalcohólica (80:20 v/v) hasta completar el volumen de aforo.

Opción 2: Se pesó 1 g de cada una de las muestras secas (droga cruda) de cáscara de banano y se añadió 40 ml de la disolución hidroalcohólica (80:20 v/v). De igual forma la extracción se llevó a cabo mediante dos métodos: ultrasonido en (ULTRASONIC BATH 5.7 L, FISCHER SCIENTIFIC) durante 30 minutos y por maceración con agitación (INFORS HT CELLTRON) durante 24 horas a 100 rpm. Transcurrido estos tiempos, los extractos se filtraron y se procedió a su correspondiente análisis.

2.8.1 Determinación de fenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu

Ensayo: Se trabajó con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma Aldrich) siguiendo el método descrito por Singleton et al (1999) con algunas modificaciones. En tubos de ensayo se agregó 50 µL de agua destilada (blanco), muestra o ácido gálico (patrón), luego

se adicionaron 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% en agua destilada y 450 μ L de agua destilada, se agitó en vortex (Thermo Scientific, USA) y se dejó reposar por 5 minutos. Posteriormente, se agregó 2 mL de Na_2CO_3 al 7,5%, se agitó nuevamente y se dejó reposar por 2 horas. Después de este tiempo, se colocó cada muestra en microceldas de 2 mL y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm, usando un espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA).

La cuantificación de fenoles totales se realizó mediante una curva de calibración de disolución patrón de ácido gálico 10 mg/mL (Sigma Aldrich) en concentraciones de 0.1; 0.3; 0.5; 0.7; 0.9 mg/mL. Todas las diluciones y muestras se analizaron por triplicado.

El contenido de fenoles totales se expresa en mg EAG/g de ES o como mg EAG/g de droga cruda y la determinación de la cantidad de fenoles totales de cada muestra se realizó mediante un análisis de regresión lineal a partir de una curva de calibración, obteniendo la siguiente ecuación:

Absorbancia = - 0,0114 + 1,0082 * concentración (mg/mL) con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9963.

2.8.2 Determinación de la capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo (DPPH) equivalente a trolox (TEAC, por sus siglas en ingles)

Ensayo: Se aplicó el método de Brand-Williams et al., (1995) con algunas modificaciones. Se tomaron 200 μ L de solución madre y se le adicionó 3,8 mL de la disolución etanólica (etanol absoluto, PanReac AppliChem) DPPH al 0,1 mM. El control de DPPH se preparó mezclando 200 μ L de etanol absoluto y 3,8 mL de DPPH (0,1 mM). Las disoluciones preparadas se sometieron a agitación en vórtex (Thermo Scientific, USA) y se protegió inmediatamente de la luz a temperatura ambiente por 30 minutos. Posteriormente, se colocó cada muestra en microceldas de 2 mL y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA), como blanco se utilizó etanol absoluto.

Para determinar la capacidad antioxidante se realizó una curva de calibración utilizando como estándar el 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico (trolox) en cinco concentraciones crecientes. La cuantificación de la capacidad antioxidante expresada en miligramos equivalentes a trolox, se obtuvo a partir de la ecuación obtenida del análisis de regresión lineal de la curva de calibración:

$\% inh = 12,294 + 275,46 * \text{concentración (mg/mL)}$ con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9962.

2.8.3 Determinación del poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP-TEAC)

Preparación de reactivos:

Solución buffer de acetato 300 mM (pH 3,6): Se pesó 3,1 g de acetato de sodio trihidratado ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) y se disolvió en agua. Luego se adicionó 16 mL de ácido acético glacial y completamos el volumen hasta un litro con agua destilada. Se comprueba el pH final y se ajusta el pH si es necesario (3,6).

Solución de HCl 40 mM: Se añadió aproximadamente 3,3 mL de HCl concentrado para 1 L de agua destilada.

Solución 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridil – s-triazina) en HCl 40 mM: Se pesó 0,0312 g de TPTZ para 10 mL de HCl 40 mM.

Solución de FeCl_3 20mM: Se pesaron 0,0324 g de FeCl_3 anhidro y se disolvió en 10 mL de agua destilada.

Solución de reactivo FRAP: Se preparó mezclando en un erlenmeyer 25 mL de solución buffer de acetato (pH: 3,6) 2,5 mL de solución TPTZ 10 mM y finalmente con 2,5 mL de solución FeCl_3 20 mM. La solución se incubó a 37 °C por 30 minutos.

Ensayo: Se aplicó el método descrito por Benzie & Straint, (1996) con algunas modificaciones. Por efectos de concentración y con el fin de que las lecturas de

absorbancia de las muestras se ajusten a la curva de calibración; se realizó una dilución, colocando en tubos de ensayo 80 μ l de muestra y 170 μ l de solución hidroalcohólica (80:20 v/v), a partir de esta dilución se realizó el ensayo.

En los de tubos de ensayo se colocaron 50 μ L de la dilución de la muestra, luego se añadieron 1,5 mL del reactivo FRAP, se sometió cada tubo de ensayo a agitación en vórtex (Thermo Scientific, USA) y se dejó reposar por 5 minutos; posteriormente se colocó cada muestra en microceldas de 2 mL y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA). Se utilizó como blanco la disolución FRAP.

La cuantificación de la capacidad antioxidante se determinó a partir de la curva de calibración realizada con el patrón de trolox en cinco concentraciones, por medio de un análisis de regresión lineal, obteniendo la siguiente ecuación:

Absorbancia = $-0,0013 + 4,9793 * \text{concentración(mg/mL)}$ con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9984.

2.9 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en cuanto a la determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial, para analizar si el efecto del método de extracción y los diferentes índices de maduración presentan diferencias estadísticamente significativas, para lo cual el valor de $p < 0,05$ fue considerado como diferencia significativa. También se aplicó una prueba de múltiples rangos (LSD) de Fisher con un nivel de confiabilidad del 95% para evaluar la significancia en los métodos de extracción y los índices de maduración. El programa empleado para el análisis estadístico fue el STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis químicos

Mediante la comparación con la escala de color de Von Loesecke (Von Loesecke, 1950) las materias primas utilizadas para el estudio corresponden a los estados de maduración 6 y 7. La caracterización química de las muestras de la pulpa de banano se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Media y desviación estándar de pH y SST de las muestras de pulpa de banano.

Parámetros	Muestra índice de maduración 6 ± Ds	Muestra índice de maduración 7 ± Ds
Potencial de hidrógeno (pH)	5,45 ± 0,11	4,98 ± 0,05
Sólidos solubles (SST)	21,70 ± 0,61	23 ± 0,52

Los valores de pH presentan una disminución, como se observa en la Tabla 1, a lo largo del proceso de maduración debido al aumento de ácido málico; estos resultados coinciden con lo descrito por Quiceno et al., (2014), afirmando que el pH disminuye debido a la mayor participación del ácido málico.

Así mismo, Passo et al., (2014), coincide en que el pH de la pulpa está inversamente relacionado con la etapa de maduración, con una disminución del pH de la pulpa durante la maduración y un aumento del sabor ácido. Esta disminución está asociada con la acumulación de algunos ácidos orgánicos como el ácido málico.

En cuanto a los resultados obtenidos de SST, como se observa en la Tabla 1, se dio un incremento en los bananos con mayor grado de madurez debido a los procesos hidrolíticos del almidón presente en el fruto, lo cual es característico en el proceso de maduración. Este es un comportamiento similar al presentado por García et al., (2020), en donde se evidencia que la madurez en la fruta es directamente proporcional al aumento de los °Brix

debido a que el almidón se degrada rápidamente acumulándose azúcares, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa.

3.2 Análisis de la composición proximal

Los resultados denotados en la Tabla 2 muestran que el contenido de hidratos de carbono es el más abundante, tanto para la cáscara de banano con índice de maduración 6 como en la cáscara de banano índice de maduración 7, seguidos por la ceniza. Mientras que la proteína fue el contenido proximal más bajo en ambas muestras. Las cáscaras de banano con índice de maduración 6 contienen más fibra cruda y grasa que las cáscaras de banano con índice de maduración 7, mientras que estas contienen más humedad que las cáscaras de banano con índice de maduración 6.

Tabla 2: Media y desviación estándar de los análisis proximales de las muestras de cáscara seca del banano de índice de maduración 6 e índice de maduración 7.

Parámetros	Muestra índice de maduración 6 ± Ds	Muestra índice de maduración 7 ± Ds
Humedad (% bs)	5,92 ± 0,10	7,08 ± 0,14
Cenizas (% bs)	13,18 ± 0,05	12,69 ± 0,13
Fibra (% bs)	11,53 ± 0,99	7,31 ± 0,83
Grasa (% bs)	7,27 ± 0,27	4,92 ± 0,39
Proteína (% bs)	4,75 ± 0,08	4,47 ± 0,23
Carbohidratos (% bs)	57,28 ± 1,14	63,69 ± 0,41

El contenido de humedad de un alimento es un signo de frescura y vida útil; un alto contenido de humedad puede causar deterioro microbiano y, por lo tanto, una vida útil corta del alimento (Ndarubu et al., 2021). El contenido de humedad en ambos índices de maduración fue de (5,92 y 7,08 %) tanto para índice de maduración 6 y 7 respectivamente, lo cual está por debajo de (14,5 %) que es el valor permitido en la normativa para harina de trigo (NTE INEN 616), por lo tanto, los resultados obtenidos cumplen con la normativa establecida. En el estudio de Onwuka et al., (2015), el contenido de humedad presente

en las muestras de harina de banano es de (10,34%), de igual forma Pragati et al., (2014), presentaron en harina de banano maduro un contenido de humedad de (11,02%). A menor contenido de humedad menor es la susceptibilidad del alimento ante la degradación microbiana y por tanto su vida útil es más larga. Onojah & Emurotu (2017) obtuvieron resultados similares, donde el contenido de humedad aumentó al madurar, siendo el banano de mayor madurez el que presentó el mayor contenido de humedad (14,24 %). Este aumento explica el ablandamiento de la textura de las cáscaras de banano. Sin embargo, Khawas & Deka (2016), presentaron resultados de la disminución del contenido de humedad con respecto a la madurez, revelando que el contenido de materia seca de la cáscara aumentaba con el avance de la madurez. Esto puede atribuirse a que la humedad de la cáscara se transfiere a la pulpa y, como resultado, se ha observado una tendencia decreciente en el contenido de humedad con la madurez. Estos resultados contrastan con los de Rakhmawati et al., (2022), presentando mayor contenido de humedad a mayor nivel de madurez de la fruta, este aumento del contenido de humedad de la fruta aumenta por la respiración, que descompone el almidón en azúcar y agua.

El contenido de cenizas, que generalmente es un material inorgánico, está directa o indirectamente asociado con la capacidad de absorción de sales minerales en las diferentes etapas de desarrollo. La cantidad del contenido de cenizas en las cáscaras de banano varió con la madurez, las cáscaras de índice de maduración 6 (13,18 %), mientras que el valor de este parámetro disminuyó ligeramente en el índice de maduración 7 (12,69 %), Los cambios en el contenido de cenizas no parecerían ser marcados entre las etapas de maduración. Estos resultados concuerdan con Obiageli et al., (2016), quienes reportaron que el contenido de cenizas de la cáscara de banano es afectado por la etapa de desarrollo y que la cáscara de banano con un índice de madurez menor contiene mayor contenido de cenizas en comparación con los de mayor madurez.

El contenido de grasa es ligeramente superior en cáscaras de banano de índice de maduración 6 (7,27 %) al compararlo con el de las cáscaras de índice de maduración 7 (4,92 %), que tiene un contenido bajo y, por lo tanto, no puede ser una buena fuente de vitaminas liposolubles. Valores similares registra Onojah & Emurotu (2017), donde las cáscaras de banano con menor madurez presentaron mayor contenido de grasa y este disminuyó al madurar; por lo tanto, concuerda con la afirmación de que la cáscara

contiene casi cuatro veces más lípidos que la pulpa y que los ácidos grasos insaturados disminuyen tanto en la pulpa como en la cáscara durante la maduración.

El contenido de fibra cruda de las cáscaras de banano varió (11,53 %) en índice de maduración 6 y disminuyó significativamente en índice de maduración 7 a (7,31 %). Los valores de fibra cruda encontrados en el presente estudio sugieren que las cáscaras de banano maduros pueden ser una buena fuente de fibra y puede ayudar a aliviar problemas digestivos. Khawas & Deka, (2016), presentaron resultados similares, con un aumento de contenido de fibra a medida que avanzaba la madurez del (índice de maduración 1 a índice de maduración 4) y en el índice de maduración 5 disminuyó ligeramente.

Tanto el contenido de proteína obtenido en el índice de maduración 6 como en el índice de maduración 7 no revelaron diferencias marcadas; hubo una ligera disminución durante la maduración, de 4,75 % en índice de maduración 6 a 4,47 % en índice de maduración 7; situación similar presentaron Khawas & Deka, (2016) en su estudio, donde obtuvo un aumento en el contenido de proteína con respecto a la madurez. Sin embargo, el contenido de proteína en la cáscara altamente madura (etapa 5) se registró que era menor que la etapa 4, esto puede darse debido a que durante la maduración de la fruta ocurre la descomposición y síntesis de proteínas y los aminoácidos son reciclados y, durante el comienzo de la maduración, la concentración actual de proteína aumenta. En el presente estudio una ligera disminución en el contenido de proteína en el índice de maduración 7 puede atribuirse a la utilización de proteínas en la gluconeogénesis.

Respecto al contenido de carbohidratos en la cáscara de banano con índice de maduración 7 (63,69 %) fue más alto que el índice de maduración 6 (57,28 %); no obstante, las cáscaras de los dos índices de maduración son una excelente fuente de hidratos de carbono, lo cual puede atribuirse al alto nivel de almidón, azúcar y fibras dietéticas. Estos resultados coinciden con los de Khawas & Deka, (2016), en donde el mayor contenido de carbohidratos se presentó en el banano con mayor grado de maduración. No obstante, Ibiyinka et al., (2021), en los resultados de su estudio, obtuvieron una disminución del contenido de carbohidratos en las cáscaras de banano debido a la maduración, lo cual puede estar relacionado a la utilización de azúcar en la respiración y podría resultar en una disminución del contenido de carbohidratos, mientras que la hidrólisis de

hemicelulosas y la descomposición de sustancias pécticas resultaron en la disminución del contenido de fibra a medida que la maduración tiene lugar.

3.3 Análisis de la composición de minerales

Las composiciones minerales de la cáscara de banano tanto en el índice de maduración 6 e índice de maduración 7 se muestran en la Tabla 3. Se puede observar que los resultados revelaron que el potasio es el mineral más abundante tanto en la cáscara de banano índice de maduración 6 como en la cáscara de banano con índice de maduración 7, seguido del calcio y magnesio tanto para la cáscara de banano índice de maduración 6 y 7 respectivamente. Mientras que el zinc fue el mineral menos presente en ambas muestras. Las cáscaras de banano con índice de maduración 6 contiene más hierro y calcio que las cáscaras de banano con índice de maduración 7, mientras que estas contienen más sodio que las cáscaras de banano con índice de maduración 6.

Tabla 3: Media y desviación estándar de los análisis de la composición de minerales de las muestras de cáscara seca del banano de índice de maduración 6 e índice de maduración 7.

Parámetros	Muestra índice de maduración 6 ± Ds	Muestra índice de maduración 7 ± Ds
Magnesio (% bs)	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Hierro (% bs)	0,01 ± 0,0	0,008 ± 0,00
Calcio (% bs)	0,66 ± 0,17	0,59 ± 0,08
Zinc (% bs)	0,002 ± 0,00	0,002 ± 0,00
Sodio (% bs)	0,006 ± 0,00	0,007 ± 0,00
Potasio (% bs)	2,82 ± 0,57	2,61 ± 0,02

El análisis del contenido de minerales de las cáscaras de los dos índices de madurez indicó la presencia de un alto contenido de potasio (2,82 y 2,61 %) en índice de maduración 6 y 7 respectivamente. Ibiyinka et al., (2021), de igual forma, coinciden que, en la cáscara de banano, el metal más abundante es el potasio; a medida que se desarrolla la maduración el contenido de potasio disminuye. Estos resultados también coinciden con los

presentados por Khawas & Deka, (2016), donde el potasio fue el micronutriente más abundante y varió entre (3,50 - 4,79 %) en las cinco etapas de maduración, y el contenido más bajo se registró en la etapa de maduración 5 y la más alta en la etapa 3.

La disminución que se observa en este estudio en el contenido de calcio (0,66 - 0,59 %) en cáscaras de banano con índice de maduración 6 y 7 respectivamente, concuerda con los hallazgos de Ayo et al., (2020), que presentaron valores de 0,65 – 0,58 %, observándose una disminución del contenido con la maduración de las frutas. Khawas & Deka, (2016), mencionan que la caída en el contenido de Ca de las paredes celulares en la etapa de maduración completa, puede ser debido a la unión de Ca en el tejido (ablandamiento del tejido) justo antes de la maduración.

El contenido de sodio aumentó de 0,006 - 0,007 % a medida que se producía la maduración. Onojah & Emurotu (2017), concuerda con los resultados del presente estudio, registrando un aumento del contenido de sodio (0,097 – 0,280 %), siendo el valor más alto la cáscara de banano con mayor grado de maduración.

Se observó que el contenido de hierro disminuyó con la maduración de 0,010 - 0,008 % en cáscaras con índice de maduración 6 y 7, respectivamente, resultados similares obtuvieron Khawas & Deka, (2016), registrando un rango entre 0,0018 y 0,0030 % de hierro donde la cantidad más alta correspondió a la fase 4, dándose una disminución en el contenido de hierro a 0,0027 % en la fase 5.

Los contenidos de magnesio (0,21 - 0,21 %) y zinc (0,002 - 0,002 %), tanto para las cáscaras con índice de maduración 6 y 7, respectivamente, no variaron con respecto a la maduración. En un estudio realizado por Happi Emaga et al., (2013), el contenido de minerales como el magnesio y el zinc no mostró cambios durante la fase de maduración, presentando valores entre 0,0695 y 0,0695 % de magnesio en índice de maduración 5 y 7, respectivamente y 0,0020 - 0,0020 % de zinc en los índices de maduración 5 y 7, respectivamente. Respecto al contenido de magnesio obtenido, se puede explicar que el magnesio es conocido como un elemento esencial de la clorofila (estado verde; inmaduro), por lo que convierte la clorofila en carotenoides (estado amarillo; maduro) resultando en un menor contenido durante el proceso de maduración (Kraithong & Issara,

2021). En el presente estudio no se presenta variación en el contenido de magnesio debido que ambos índices de maduración son continuos.

En general, las concentraciones de K, Fe y Ca aumentaron con el avance del desarrollo del fruto y luego disminuyeron en el índice de maduración 7. La gran variación en todos los minerales observados durante el desarrollo del fruto puede atribuirse a múltiples factores, como el tipo de suelo, la condición del suelo, las condiciones de cultivo (especialmente a los nutrientes existentes en el suelo en el que crece la planta), la variedad, el estado de madurez, y los regímenes de riego que pueden causar variaciones en el contenido de minerales y oligoelementos en diferentes tipos de frutas, así como dentro de las diferentes partes de la misma fruta (Khawas & Deka, 2016).

3.4 Determinación del tratamiento que favorece la extracción de compuestos de origen fenólico y la capacidad antioxidante en cáscaras de banano con índice de maduración 6 y 7

Como se puede observar en la tabla 4 los diferentes estados de maduración de las cáscaras de banano afectan a los compuestos fenólicos extraídos, resultados que concuerdan con la investigación de Kanta et al., (2017), que obtuvieron mayor contenido de fenoles totales en cáscara de banano con más índice de madurez. El contenido de fenoles totales de los extractos muestra que el método de extracción mediante maceración asistida con agitación fue comparativamente menos eficaz que la extracción por ultrasonido, en el estudio de Irfan et al., (2022), reportaron datos donde se demuestra que la extracción por ultrasonido dio lugar a un contenido fenólico comparativamente más elevado y fue una técnica de extracción más eficaz que la maceración.

La capacidad antioxidante obtenida tanto por el método FRAP y DPPH se ve afectada por los diferentes índices de maduración de las cáscaras de banano, Oliveira et al., (2019), también observaron un aumento de la actividad antioxidante de las cáscaras de banano durante la maduración. La investigación de Vasundhara et al., (2021), reportan, en general, que la capacidad antioxidante de la cáscara de banano aumentó a medida que la fruta maduraba y disminuía una vez sobre madurada. La reducción de los fenoles de la fruta y la subsiguiente disminución del poder antioxidante a lo largo de la maduración,

especialmente en el caso de la fruta demasiado madura, probablemente se produce debido a la reducción del metabolismo primario, lo que resulta en una falta de sustratos necesarios para la biosíntesis de compuestos fenólicos (Vu et al., 2019).

La capacidad antioxidante de los extractos obtenidos por el método FRAP y DPPH muestra que el método de extracción mediante ultrasonido fue comparativamente más eficaz que la extracción por maceración asistida con agitación. Seremet et al., (2020), coinciden con lo reportado en el presente estudio, obteniendo la mayor capacidad antioxidante, determinada por los ensayos DPPH y FRAP mediante ultrasonido, mientras que la técnica de maceración se caracterizó por tener menor capacidad antioxidante.

Tabla 4: Media y desviación estándar del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en muestras de extracto de cáscara de banano.

Método de extracción	Índice de maduración	Contenido de fenoles totales	Capacidad Antioxidante (DPPH)	Capacidad antioxidante (FRAP)
Ultrasonido	Índice de maduración 6	15,128 ± 0,781	9,742 ± 0,053	18,350 ± 0,401
	Índice de maduración 7	17,189 ± 0,330	9,870 ± 0,116	22,460 ± 0,151
	Índice de maduración 6 control	12,935 ± 0,306	8,042 ± 0,062	10,600 ± 0,252
	Índice de maduración 7 control	15,747 ± 0,455	7,556 ± 0,280	19,184 ± 0,173
Maceración dinámica	Índice de maduración 6	8,819 ± 0,358	8,427 ± 0,222	9,521 ± 0,045
	Índice de maduración 7	12,926 ± 0,877	8,764 ± 0,066	16,078 ± 0,180
	Índice de maduración 6 control	3,946 ± 0,152	2,291 ± 0,186	3,652 ± 0,052
	Índice de maduración 7 control	5,752 ± 0,072	3,363 ± 0,339	5,600 ± 0,075

3.5 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre el contenido fenólico de los extractos de cáscara de banano

Se realizó una comparación entre el método de extracción y el índice de maduración de las cáscaras de banano para determinar el tratamiento que favorezca la extracción de fenoles totales. Los resultados obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial tal como se observa en la tabla 5 en donde se analiza el efecto del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la concentración de fenoles totales (mg EAG/g de ES) presentes en la cáscara de banano.

Tabla 5: Análisis de varianza de la concentración de fenoles totales en muestras de extracto de cáscara de banano.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	F	Sig.
Efectos principales					
A: Índice de maduración	39,0602	1	39,0602	66,14	0,0000
B: Método de extracción	74,4799	1	74,4799	126,11	0,0000
Residuos	4,72481	8	0,590602		
Total	122,18	11			

En la tabla 5 se puede observar que se prueba la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05 los factores método de extracción e índices de maduración tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fenoles totales con un 95,0% de nivel de confianza.

Los resultados de la prueba de múltiples rangos reportados en la tabla 6 muestran las medias correspondientes a los métodos de extracción de estudio, en el cual se observa que no hay homogeneidad entre las medias del contenido de fenoles totales presentes al utilizar ultrasonido como método de extracción y maceración asistida con agitación, siendo mayor la media con la técnica de ultrasonido. Es así que se comprueba que para

obtener mejores resultados en cuanto a la extracción de compuestos fenólicos en cáscaras de banano se debe emplear ultrasonido como método de extracción, todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 6: Prueba LSD para fenoles totales por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.

Método de extracción	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Maceración	6	11,1943	0,891628	x
Ultrasonido	6	16,177	0,891628	x

En la investigación realizada por Safdar et al., (2017), encontraron que la técnica más eficaz y que produjo mayor contenido de polifenoles en los extractos de cáscara de mandarina kinnow es mediante ultrasonido en comparación con la maceración asistida con agitación, estos resultados concuerdan con los de la presente investigación.

En la extracción de compuestos fenólicos de las hojas de *Cymbopogon citratus* realizado por Irfan et al., (2022), en sus datos se desprende que el ultrasonido dio lugar a un contenido fenólico comparativamente más elevado y fue una técnica de extracción más eficaz que la maceración.

Otro estudio de parte de Stanković et al., (2022), optimizaron los procesos de extracción de compuestos fenólicos de extractos de *Taraxacum officinal* y también se demostró que se obtenía un mejor rendimiento de fenoles totales mediante la extracción asistida por ultrasonidos en comparación con el método convencional.

Por lo tanto, con la técnica ultrasonido se tiene la ventaja sobre la técnica de maceración de que es comparativamente más eficiente, debido que el mecanismo de acción más probable de la extracción por ultrasonidos es la intensificación de la transferencia de masa y la penetración más fácil del disolvente en las células del material vegetal y en la maceración se produce un mecanismo normal de difusión a través de las paredes

celulares, porque este proceso requiere un tiempo de extracción mucho más largo (Kostić et al., 2019).

A pesar que en el ANOVA realizado muestra diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, al realizar la prueba de múltiples rangos los resultados reportados en la tabla 7 indican que existe homogeneidad entre las medias del contenido de fenoles medidos a las muestras con índices de maduración 6 y 7, por lo cual se determina que el factor de mayor influencia sobre el contenido de fenoles extraídos desde las muestras de cascara de banano corresponde al método de extracción siendo más efectivo el método en el que se utiliza el ultrasonido. Todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 7: Prueba LSD para fenoles totales por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.

Índice de maduración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Índice de maduración 6	6	12,0656	1,22536	x
Índice de maduración 7	6	15,4898	1,22536	x

Resultados similares presenta Aquino et al., (2016), en su investigación; los niveles más altos de compuestos fenólicos se encontraron en la cáscara madura. Sin embargo, Fernando et al., (2014), presenta en un estudio la disminución del contenido fenólico con la maduración solo en el banano “Hom Thong”, mientras que en el banano “Khai” el contenido fenólico aumentó. No obstante, cuando la fruta estaba completamente madura, se reportó que el contenido fenólico disminuyó en la etapa de plena madurez; estas variaciones en el contenido fenólico de los ejemplares de banana han sido observadas en estudios anteriores. Fernando et al., (2014), afirma que en general, el contenido fenólico, en particular los taninos que son responsables del sabor astringente de las frutas inmaduras disminuyen con la maduración debido principalmente a la polimerización haciéndolos insolubles e indetectables al gusto.

En el estudio de Khawas & Deka, (2016), muestra que el contenido de polifenoles en la cáscara de banano fue mayor cuando el fruto era joven y disminuyó con la madurez. La

explicación de esta variación es que, durante la fase de maduración temprana, el 60 % de los compuestos polifenólicos tienen un peso molecular superior. Con el avance de la maduración, este 60 % de polifenoles con un peso molecular superior desaparece lentamente, lo que se traduce en una disminución de la propiedad astringente, lo que concuerda por lo explicado anteriormente por Fernando et al., (2014); al avanzar la maduración, solo queda un 40 % de polifenoles con un peso molecular inferior y el contenido en polifenoles disminuye (Khawas & Deka, 2016).

La investigación realizada por Youryon & Supapvanich, (2017), también concuerda con los resultados del presente estudio, obteniendo un contenido fenólico de la cáscara de banano verde madura significativamente más bajo que el de la cáscara de banano maduro y sobremaduro; no se encontraron diferencias significativas en el contenido de fenoles totales entre las cáscaras de banano maduro y sobremaduro.

Estos cambios del contenido fenólico durante la maduración del banano fueron contradictorios con los estudios reportados previamente; estas contradicciones pueden explicarse por la maduración del banano en el momento de la cosecha y la temporada de cosecha (húmeda o seca) que han demostrado influir significativamente en los cambios de fenoles durante la maduración (Vu et al., 2019).

3.5 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo FRAP y DPPH de los extractos de cáscara de banano.

3.5.1 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo FRAP de los extractos de cáscara de banano.

A través del ANOVA multifactorial se logró determinar los factores que influyen sobre la actividad antioxidante evaluada por el método analítico (FRAP), resultados en que se observan en la tabla 8, en donde se analiza el efecto del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante (mg TEAC/g de ES), obtenidos por el método FRAP, presente en la cáscara de banano.

Tabla 8: Análisis de varianza de la capacidad antioxidante obtenidos por el método FRAP en muestras de extracto de cáscara de banano.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	F	Sig.
Efectos principales					
A: Índice de maduración	8,73063	1	8,73063	168,72	0,000
B: Método de extracción	17,7575	1	17,7575	343,17	0,000
Residuos	0,413969	8	0,0517462		
Total		11			

En la tabla 8 se puede observar que se prueba la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05 los factores método de extracción e índices de maduración tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante medida por el método FRAP con un 95,0% de nivel de confianza.

Los resultados de la prueba de múltiples rangos reportados en la tabla 9 muestran las medias correspondientes a los métodos de extracción de estudio, en los cuales se observa que no hay homogeneidad entre las medias de la capacidad antioxidante presente al utilizar ultrasonido como método de extracción y maceración asistida con agitación, siendo mayor la media con la técnica de ultrasonido. Es así que se comprueba que para obtener mejores resultados en cuanto a la extracción de capacidad antioxidante en cáscaras de banano se debe emplear ultrasonido como método de extracción. Todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 9: Prueba LSD para capacidad antioxidante (FRAP) por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.

Método de extracción	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Maceración	6	4,096	0,403348	x
Ultrasonido	6	6,54738	0,403348	x

En la investigación realizada por Quiroz-Reyes et al., (2013), los resultados FRAP indican que el extracto de la cáscara de cocoa beans obtenido mediante aplicación de ultrasonidos tuvo la mayor actividad antioxidante, al igual que en el presente estudio. Sin embargo, no detectaron diferencias significativas entre los métodos utilizados.

En otras investigaciones como la de Mariem et al., (2021), de igual forma reportaron datos que mediante el ensayo de FRAP se muestra mayor actividad antioxidante de dos variedades de uvas, con una ventaja en la intensificación de actividad antioxidante al emplear ultrasonido como método de extracción en comparación de la técnica de maceración.

En el estudio de Puspawati et al., (2019), La actividad antioxidante (FRAP) de Tamarillo (*Solanum betaceum Cav.*) utilizando ultrasonido es superior a la maceración, el resultado del ultrasonido fue un 17,79% superior, por lo tanto, hubo diferencia significativa entre los dos métodos.

En la presente investigación como en las anteriormente enunciadas, se identifica claramente que el método de extracción por ultrasonido resulta mejor opción que la maceración para favorecer la extracción de compuestos que tienen asociados una capacidad antioxidante, este efecto puede deberse al proceso de cavitación y a la mecánica de vibración producida por la presión de la radiación ultrasónica, que puede acelerar la penetración de los disolventes y mejorar la eficiencia de extracción y la actividad antioxidante de los extractos obtenidos (Silva Júnior et al., 2021).

A pesar que en el ANOVA realizado muestra diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, al realizar la prueba de múltiples rangos los resultados reportados en la tabla 10 indican que existe homogeneidad entre las medias de la capacidad antioxidante medida a las muestras con índices de maduración 6 y 7, por lo cual se determina que el factor de mayor influencia sobre la capacidad antioxidante extraída desde las muestras de cascara de banano corresponde al método de extracción, siendo más efectivo el método en el que se utiliza el ultrasonido. Todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 10: Prueba LSD para capacidad antioxidante (FRAP) por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.

Índice de maduración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Índice de maduración 6	6	4,4595	0,560784	x
Índice de maduración 7	6	6,18388	0,560784	x

Se ha reportado mayor contenido de equivalentes Trolox en el banano sobremaduro, seguido por el medio maduro y el banano verde en el experimento FRAP realizado por Faruk Bilgin et al., (2022), resultados que concuerdan con el del presente estudio. No obstante, Costanzo et al., (2022), informan en su estudio que la capacidad antioxidante de la mandarina flemática determinada mediante el ensayo FRAP tiene una caída de la actividad antioxidante con la maduración lo cual podría deberse a una deposición irregular de compuestos fenólicos en los tejidos o a la reducción de enzimas antioxidantes como el ascorbato y el glutatión. Racchi, (2013), informó que la disminución del sistema antioxidante en frutos de naranja dulce se produce simultáneamente con la reducción de la actividad antioxidante debido al aumento del estrés oxidativo con la maduración. En estas circunstancias, los procesos de maduración y senescencia, que resultan en la acumulación de ROS (especies reactivas del oxígeno), pueden haber afectado a la actividad antioxidante. Un estudio de Vu et al. (2019), mostró que la capacidad antioxidante de la cáscara aumentaba a medida que el banano maduraba y se reducía una vez que se sobre maduraba, lo que indica que las propiedades antioxidantes están correlacionadas con los componentes fenólicos en lugar de las clorofilas y los carotenoides.

3.5.2 Evaluación de la influencia del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante obtenidos por el ensayo DPPH de los extractos de cáscara de banano

A través del ANOVA multifactorial se logró determinar los factores que influyen sobre la actividad antioxidante evaluada por el método analítico (DPPH), resultados que se presentan en la tabla 11, en donde se analiza el efecto del método de extracción y los diferentes índices de maduración sobre la capacidad antioxidante (mg TEAC/g de ES), obtenidos por el método DPPH, presente en la cáscara de banano.

Tabla 11: Análisis de varianza de la capacidad antioxidante obtenidos por el método DPPH en muestras de extracto de cáscara de banano.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	F	Sig.
Efectos principales					
A: Índice de maduración	0,161704	1	0,161704	8,41	0,0176
B: Método de extracción	4,39835	1	4,39835	228,80	0,0000
Residuos	0,173009	9	0,0192232		
Total	4,73306	11			

En la tabla 11 se puede observar que se prueba la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05 los factores método de extracción e índices de maduración tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante medida por el método DPPH con un 95,0% de nivel de confianza.

Los resultados de la prueba de múltiples rangos reportados en la tabla 12 muestran las medias correspondientes a los métodos de extracción de estudio, en los cuales se observa que no hay homogeneidad entre las medias de la capacidad antioxidante presente al utilizar ultrasonido como método de extracción y maceración asistida con agitación, siendo mayor la media con la técnica de ultrasonido. Es así que se comprueba que para

obtener mejores resultados en cuanto a la extracción de capacidad antioxidante en cáscaras de banano se debe emplear ultrasonido como método de extracción. Todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 12: Prueba LSD para capacidad antioxidante (DPPH) por el método de extracción en muestras de extracto de cáscara de banano.

Método de extracción	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Maceración	6	8,59517	0,0746897	x
Ultrasonido	6	9,806	0,0746897	x

Ranjha et al., (2020), demostraron en su investigación que el porcentaje de inhibición del extracto de cáscara de manzana y granada de la muestra de extracción por ultrasonidos presentaba una mayor eliminación de radicales que la técnica de maceración, evaluada mediante el ensayo de eliminación de radicales DPPH; estos reportes concuerdan con los del presente estudio. Del mismo modo Saini et al., (2019), obtuvieron resultados similares con una máxima actividad DPPH en cáscaras de mandarina kinnow y mousambi por el método de ultrasonido en comparación con el método tradicional de maceración. Otros autores como Quiroz-Reyes et al., (2013), concuerdan con lo reportado, que los compuestos extraídos por aplicación de ultrasonidos muestran una mayor actividad de inhibición hacia el radical DPPH comparada con la de los extractos obtenidos por el método convencional.

Como se puede evidenciar en la presente investigación como en las investigaciones de los diferentes autores mediante la técnica de ultrasonido se favorece la extracción de compuestos que tienen asociados una capacidad antioxidante, este suceso de igual forma se debe a lo descrito en el epígrafe 3.5.1.

A pesar que en el ANOVA realizado muestra diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, al realizar la prueba de múltiples rangos los resultados reportados en la tabla 3 indican que existe homogeneidad entre las medias de la capacidad antioxidante medida a las muestras con índices de maduración 6 y 7, por lo cual se determina que el factor de mayor influencia sobre la capacidad antioxidante extraída desde las muestras de

cáscara de banano corresponde al método de extracción, siendo más efectivo el método en el que se utiliza el ultrasonido. Todo esto con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 13: Prueba LSD para capacidad antioxidante (DPPH) por el índice de maduración 6 y 7 en muestras de extracto de cáscara de banano.

Índice de maduración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Índice de maduración 6	6	9,0845	0,276024	x
Índice de maduración 7	6	9,31667	0,276024	x

Los resultados presentados por Aquino et al., (2016), muestran mayor potencial antioxidante en cáscara de banano con mayor madurez en comparación con las cáscaras de menor madurez, coincidiendo con lo reportado en la presente investigación. Faruk Bilgin et al., (2022), cuando compararon los contenidos de antioxidantes en el banano, el valor más alto de eliminación del radical DPPH se encontró en el fruto maduro (51,64%), mientras que el valor más bajo de eliminación del radical DPPH se encontró en el fruto medianamente maduro (17,06%), no obstante, la actividad antioxidante total disminuyó rápidamente con la senescencia en los cultivares de banano estudiados. En otras investigaciones como las de Bashmil et al., (2021), muestran similitud en sus resultados debido que la habilidad de las cáscaras de banano para eliminar radicales libres (DPPH) aumenta a medida que la fruta progresa de verde a madura y disminuye con la fruta sobre madura. Este resultado también concuerda con el de Youryon & Supapvanich, (2017), que informaron de un alto contenido de actividad antioxidante en la fase madura que disminuía a medida que avanzaba la maduración.

CONCLUSIONES

En las cáscaras de banano se evidenció la presencia de macro y micronutrientes que aumentan o disminuyen con la maduración.

En la evaluación de contenido fenólico se demostró que el estado de maduración no influye en el contenido de fenoles totales, más el método de extracción por ultrasonido si favoreció la extracción de dichos compuestos.

Se demuestra que las muestras objetos de estudio presentan una elevada capacidad antioxidante por dos mecanismos de acción diferente, lo cual guarda relación con el alto contenido de compuestos fenólicos presentes. Estos resultados evidencias que las cáscaras de banano contienen ingredientes bioactivos esenciales que pueden utilizarse como ingredientes en diseño de alimentos funcionales o suplementos nutricionales.

RECOMENDACIONES

Trabajar con la disolución de la muestra directamente y no con el extracto seco para evitar precipitaciones y errores en el momento de la extracción de los diferentes compuestos.

Trabajar con un tamaño de partícula no menor a 150 micras para una mejor extracción de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

Utilizar las cáscaras de banano que son desechadas de las diferentes empresas para darles un valor agregado a estos residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aquino, C., Salomao, L., Ribeiro, S., Rocha, M., Siqueira, D., & Cecon, P. (2016). Carbohydrates, phenolic compounds and antioxidant activity in pulp and peel of 15 banana cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(3). <https://doi.org/10.1590/0100-29452016>
- Arceusz, A., Wesolowski, M., & Konieczynski, P. (2013). Methods for extraction and determination of phenolic acids in medicinal plants: A review. *Natural Product Communications*, 8(12), 1821–1829. <https://doi.org/10.1177/1934578x1300801238>
- Ayo, J., Ochefu, A., & Agbatutu, A. (2020). Effect of ripening on the Chemical Composition of Green locally Cultivated Banana Cultivars (Musa Spp.) Peel. *Nigerian Annals of Pure and Applied Sciences*, 3(1), 52–66. <https://doi.org/10.46912/napas.158>
- Bashmil, Y. M., Ali, A., Bk, A., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2021). Screening and characterization of phenolic compounds from australian grown bananas and their antioxidant capacity. *Antioxidants*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/antiox10101521>
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–9. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>
- Bitwell, C., Sen, S., & Luke, C. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>
- Cacique, A. P., Barbosa, É. S., de Pinho, G. P., & Silvério, F. O. (2020). Maceration extraction conditions for determining the phenolic compounds and the antioxidant

- activity of *catharanthus roseus* (L.) g. don. *Ciencia e Agrotecnologia*, 44, 1–12.
<https://doi.org/10.1590/1413-7054202044017420>
- Caicedo, W., Sánchez, J., Viamontes, M., Tapuy, A., Estrada, C., Flores, A., & Moya, C. (2019). Chemical composition and apparent digestibility of green “orito” banana (*Musa acuminata* AA) meal in growing pigs. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(August), 1–9.
- Can-Cauch, C. A., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., González-Aguilar, G. A., Cuevas-Glory, L. F., Pérez-Pacheco, E., & Moo-Huchin, V. M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 37, 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.028>
- Corona-Jiménez, E., Martínez-Navarrete, N., Ruiz-Espinosa, H., & Carranza-Concha, J. (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Agrociencia*, 50(4), 403–412.
- Coronado H., M., Vega Y León, S., Gutiérrez T., R., Marcela, V. F., & Radilla V., C. (2015). Antioxidants: Present perspective for the human health. *Revista Chilena de Nutricion*, 42(2), 206–212. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Costanzo, G., Vitale, E., Iesce, M. R., Naviglio, D., Amoresano, A., Fontanarosa, C., Spinelli, M., Ciaravolo, M., & Arena, C. (2022). Antioxidant Properties of Pulp, Peel and Seeds of Phlegrean Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) at Different Stages of Fruit Ripening. *Antioxidants*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/antiox11020187>
- Faruk Bilgin, Ö., Nogay, G., Kafkas, N. E., & Kafkas, S. (2022). Some fruit quality characteristics of “Grand Naine” banana fruits during various ripening stages. *International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences*, 6(1), 24–27. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijafils>
- Fatemeh, S. R., Saifullah, R., Abbas, F. M. A., & Azhar, M. E. (2012). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: Influence of variety and stage of ripeness. *International Food Research Journal*, 19(3), 1041–1046.

- Fernando, H. R. P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Boonyaritthongchai, P., & Jitareerat, P. (2014). Changes in antioxidant properties and chemical composition during ripening in banana variety “Hom Thong” (AAA group) and “Khai” (AA group). *International Food Research Journal*, 21(2), 749–754.
- García, D. A. T., Solórzano, C. Y. E., Navarrete, Y. G. T., & Rojas, M. M. J. (2020). Physico chemical and microbiological characteristics of the purple banana flour (Musa acuminata) red dacca, produced in the Mocache, El Empalme and La Maná cantons. *Revista Ingeniería e Innovación*, 9 (1)(2346–0474), 1–16. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2418>
- Gómez Montaña, F. J., Bolado García, V. E., & Blasco López, G. (2019). Compositional and antioxidant analysis of peels from different banana varieties (Musa spp.) for their possible use in developing enriched flours. *Acta Universitaria*, 29, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2260>
- Happi Emaga, T., Andrianaivo, R. H., Wathelet, B., Tchango, J. T., & Paquot, M. (2013). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry*, 103(2), 590–600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.006>
- Hikal, W. M., Ahl, H. A. H. S., Bratovic, A., Tkachenko, K. G., Rad, J. S., Kačániová, M., & Elhourri, M. (2022). Cáscaras de plátano : un tesoro de desecho para el ser humano. 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/7616452>
- Ibiyinka, O., Akinwumi Oluwafemi, A., Adebayo O, O., & Olugbenga Kayode, P. (2021). Comparative study of chemical composition and evaluation of the In-Vitro antioxidant capacity of unripe and ripe banana species (Musa Sapientum) biowastes. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7, 061–066. <https://doi.org/10.17352/2455-815x.000089>
- INEN. (1985). Conservas vegetales. *Instituto Ecuatoriano De Normalización INEN 389*, 3, 1–5. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/389.pdf>

- INEN. (2015). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 616:2015. Harina de trigos. Requisitos. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1–13. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-616-4.pdf>
- INEN 380. (1985). Conservas vegetales. Determinación de sólidos solubles. Metodo Refractométrico. *Instituto Ecuatoriano De Normalización*, 1–9. www.inen.gob.ec
- INEN 520, I. E. de N. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 520 : 2013 Primera revisión HARINAS DE ORIGEN VEGETAL. DETERMINACIÓN DE LA CENIZA*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/520.pdf>
- Irfan, S., Ranjha, M. M. A. N., Nadeem, M., Safdar, M. N., Jabbar, S., Mahmood, S., Murtaza, M. A., Ameer, K., & Ibrahim, S. A. (2022). Antioxidant Activity and Phenolic Content of Sonication- and Maceration-Assisted Ethanol and Acetone Extracts of *Cymbopogon citratus* Leaves. *Separations*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/separations9090244>
- Kanta, P., Tunkham, J., Ramaraj, R., & Unpaprom, Y. (2017). Bioactive extraction from banana peel (*Musa sapientum* Linn .) for antioxidant agent. *Proceeding of the 24th Tri-University International Joint Seminar and Symposium*, 01, 85–88.
- Khawas, P., & Deka, S. C. (2016). Comparative Nutritional, Functional, Morphological, and Diffractogram Study on Culinary Banana (*Musa ABB*) Peel at Various Stages of Development. *International Journal of Food Properties*, 19(12), 2832–2853. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1141296>
- Kostić, E., Arsić, B., Mitić, M., Dimitrijević, D., & Marinkovic, E. P. (2019). Optimization of the solid-liquid extraction process of phenolic compounds from mulberry fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 629–633. <https://doi.org/10.15835/nbha47311419>
- Kraithong, S., & Issara, U. (2021). A strategic review on plant by-product from banana harvesting: A potentially bio-based ingredient for approaching novel food and agro-industry sustainability. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(8), 530–543. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.004>

- Mariem, S., Salem-berrabah, B., Hanen, W., Ammal, J., & Riadh, K. (2021). Extraction Methodology and Power Ultrasound Effects on Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Two Tunisian Grape Varieties. *International Journal of Medicinal Plants and Natural Products*, 7(1), 9–18. <https://doi.org/10.20431/2454-7999.0701002>
- 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(March), 105054. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>
- Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F., & Álvarez-Parrilla, E. (2017). Nuevo Acercamiento a La Interacción Del Reactivo De Folin-Ciocalteu Con Azúcares Durante La Cuantificación De Polifenoles Totales. *Tip*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- Ndarubu, T. A., Rosemary, O. N., Gboke, J. A., David, G., Rukiya, Z., Zungeru, S. I., Nat, B., & Sci, A. (2021). Proximate , Minerals , and Amino Acid Compositions of Banana and Plantain Peels. *01(01)*, 1–10.
- Obiageli, O. A., I, I. A., Adachukwu Pauline, I., & Geraldine Ukamaka, O. (2016). Proximate Compositions of fruits of Three Musa Species at Three Stages of Development. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS) e-ISSN*, 15(6), 107–117. www.iosrjournals.org
- Oliveira, A., Maria Lopes, M., Oliveira de Souza, K., de Siqueira Oliveira, L., Farley Herbser Moura, C., & Raquel Alcântara de Miranda, M. (2019). Organic versus conventional “Prata-Anã” banana: effects on quality, bioactive compounds and oxidative markers. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1743.1027>
- Onojah, P. K., & Emurotu. (2017). Phytochemical Screening, Proximate Analysis and Mineral Composition of Ripped and Unripped Musa Species Grown in Anyigba and its Environs. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 4(3), 6–8. <http://www.hortpurdue.edu/>

- Onwuka, G. I., Onyemachi, A. D., & David-Chukwu, N. P. (2015). Comparative Evaluation of Proximate Composition and Functional Properties of Two Varieties of Cooking Banana. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 9(1), 01–04. <https://doi.org/10.9790/2402-09130104>
- Passo, V. C. P. T., Andre, C. M., Ritter, C., Tomekpe, K., Ngho Newilah, G., Rogez, H., & Larondelle, Y. (2014). Characterization of Musa sp. fruits and plantain banana ripening stages according to their physicochemical attributes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 8705–8715. <https://doi.org/10.1021/jf5021939>
- Pragati, S., I. G., & Kumar Ravish. (2014). Comparative Study of Ripe and Unripe Banana Flour during Storage. *Journal of Food Processing & Technology*, 5(11), 1–7. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000384>
- Puspawati, G. A. K. D., Marsono, Y., Supriyadi, S., & Armunanto, R. (2019). Comparison of Sonication with Maceration on Antioxidant Potency of Anthocyanin and Karotenoid of Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *AgriTECH*, 38(3), 304. <https://doi.org/10.22146/agritech.28959>
- Quiceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). Physical-chemical characterization of plantain (*Musa paradisiacal* sp . AAB , Simmonds) for industrialization. *UGCiencia*, 20(1), 48–54. revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/download/313/578
- Quiroz-Reyes, C. N., Aguilar-Mendez, M. ., Ramirez-Ortis, M. ., & Ronquillo-De Jesus, E. (2013). COMPARATIVE STUDY OF ULTRASOUND AND MACERATION TECHNIQUES FOR THE EXTRACTION OF POLYPHENOLS FROM COCOA BEANS (*Theobroma cacao* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 11–18.
- Racchi, M. L. (2013). Antioxidant defenses in plants with attention to prunus and citrus spp. *Antioxidants*, 2(4), 340–369. <https://doi.org/10.3390/antiox2040340>

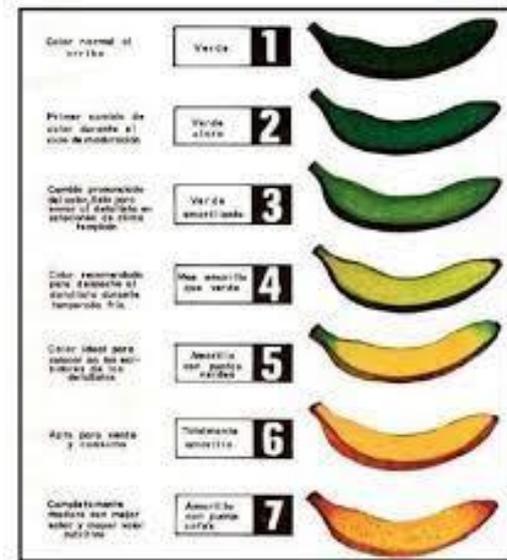
- Rakhmawati, Y., Lestari, S. R., Pratama, A. W., & Sulistiyowati, N. (2022). Nutrition Facts Analysis of Agung Banana Flour During Ripening. *Proceedings of the 3rd International Scientific Meeting on Public Health and Sports (ISMOPHS 2021)*, 44(Ismophs 2021), 45–49. <https://doi.org/10.2991/ahsr.k.220108.009>
- Ranjha, M. M. A. N., Amjad, S., Ashraf, S., Khawar, L., Safdar, M. N., Jabbar, S., Nadeem, M., Mahmood, S., & Murtaza, M. A. (2020). Extraction of Polyphenols from Apple and Pomegranate Peels Employing Different Extraction Techniques for the Development of Functional Date Bars. *International Journal of Fruit Science*, 20(S3), S1201–S1221. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1782804>
- Rojas-Llanes, J. P., Martínez, J. R., & Stassenko, E. E. (2015). Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de extractos de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos bajo diferentes condiciones. *Vitae*, 21(3), 218–227. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.18852>
- Rybak-Chmielewska, H. (1990). Honey. *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, 1(Volume 1), 73–80. <https://doi.org/10.7312/seir17116-004>
- Safdar, M. N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. A. (2017). Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3), 488–500. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>
- Saini, A., Panesar, P. S., & Bera, M. (2019). Comparative study on the extraction and quantification of polyphenols from citrus peels using maceration and ultrasonic technique. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(3), 678–685. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.3.08>
- Sajid Arshad, M., Khalid, W., Shabir Ahmad, R., Kamran Khan, M., Haseeb Ahmad, M., Safdar, S., Kousar, S., Munir, H., Shabbir, U., Zafarullah, M., Nadeem, M., Asghar, Z., & Ansar Rasul Suleria, H. (2021). Functional Foods and Human Health: An Overview. *Functional Foods - Phytochemicals and Health Promoting Potential*, 1–14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99000>

- Saldaña Cejudo, P., Bastida, S., Macho González, A., & Sánchez Muniz, F. J. (2020). Alimentos funcionales como alternativa para incrementar la ingesta de fibra dietética y proantocianidinas, posibles efectos sobre la microbiota intestinal. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(12), 1575–1598. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3990>
- Seremet, D., Durgo, K., Jokić, S., Hudek, A., Cebin, A. V., Mandura, A., Jurasović, J., & Komes, D. (2020). Valorization of banana and red beetroot peels: Determination of basic macrocomponent composition, application of novel extraction methodology and assessment of biological activity in vitro. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114539>
- Silva Júnior, M. E., Araújo, M. V. R. L., Santana, A. A., Silva, F. L. H., & Maciel, M. I. S. (2021). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from ciriguela (*Spondias purpurea* L.) peel: Optimization and comparison with conventional extraction and microwave. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(8), 103260. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103260>
- Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S., & Sameenoi, Y. (2018). Paper-based DPPH assay for antioxidant activity analysis. *Analytical Sciences*, 34(7), 795–800. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P014>
- Sonko, U. L., & Muranga, F. I. (2020). Phenolic Compounds Identification and Antioxidant Activity in Bananas of AAB and ABB Genomes Grown in Uganda. *Journal of Food, Nutrition and Population Health*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.21767/2577-0586.4.2.17>
- Stanković, M., Arsenijević, D., Planojević, N., Terzić, J., & Stefanović, O. (2022). Bioactive compounds from *Taraxacum officinale* extracts obtained by optimized ultrasound-assisted extraction. *Kragujevac Journal of Science*, 44(44), 169–187. <https://doi.org/10.5937/kgjsci2244169s>
- Tai, N. Van, Linh, M. N., & Thuy, N. M. (2021). Optimization of extraction conditions of phytochemical compounds in “Xiem” banana peel powder using response surface methodology. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 9(6), 56–62. <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9607>

- Vasundhara, B. A., Rajashekhara, E., Thammaiah, N., Kulapati, H., Mesta, R. K., & Ragavendra, S. (2021). Proximate Composition of Banana fruit Peel of Varieties Grand Naine (AAA), Rajapuri (AAB) and Ney Poovan (AB) at different stages of Ripening. *Biological Forum – An International Journal*, 13(4), 784–789.
- Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. (2019). Changes of phytochemicals and antioxidant capacity of banana peel during the ripening process; with and without ethylene treatment. *Scientia Horticulturae*, 253(April), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.043>
- Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñoz-Márquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–11. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255>
- Youryon, P., & Supapvanich, S. (2017a). Physicochemical quality and antioxidant changes in ‘Leb Mue Nang’ banana fruit during ripening. *Agriculture and Natural Resources*, 51(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2015.12.004>
- Youryon, P., & Supapvanich, S. (2017b). Physicochemical quality and antioxidant changes in ‘Leb Mue Nang’ banana fruit during ripening. *Agriculture and Natural Resources*, 51(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2015.12.004>
- Zahid, H. F., Ranadheera, C. S., Fang, Z., & Ajlouni, S. (2021). Utilization of mango, apple and banana fruit peels as prebiotics and functional ingredients. *Agriculture (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture11070584>

ANEXOS

Anexo 1: Escala de Von Loesecke



Anexo 2: Lavado y desinfección de los bananos



Anexo 3: Escurrido de las cáscaras de banano



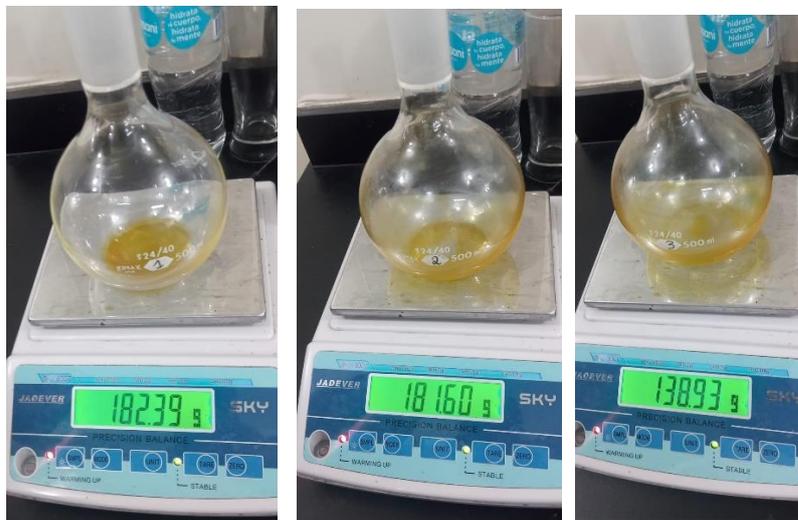
Anexo 6: Cáscaras de banana secas



Anexo 7: Determinación de grasa



Anexo 8: Toma del peso de los balones después de la determinación de grasa



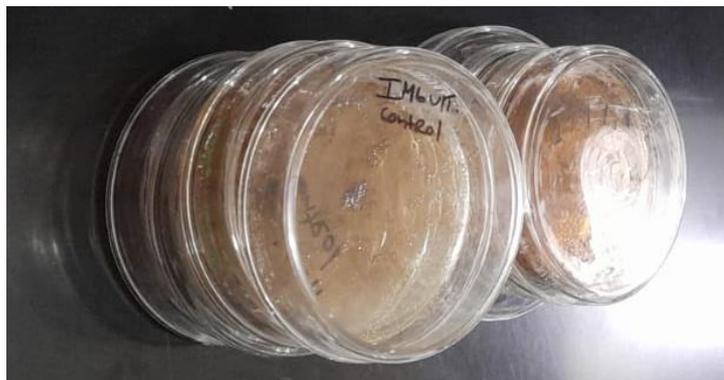
Anexo 9: Determinación de fibra cruda



Anexo 10: Método de maceración asistida por agitación



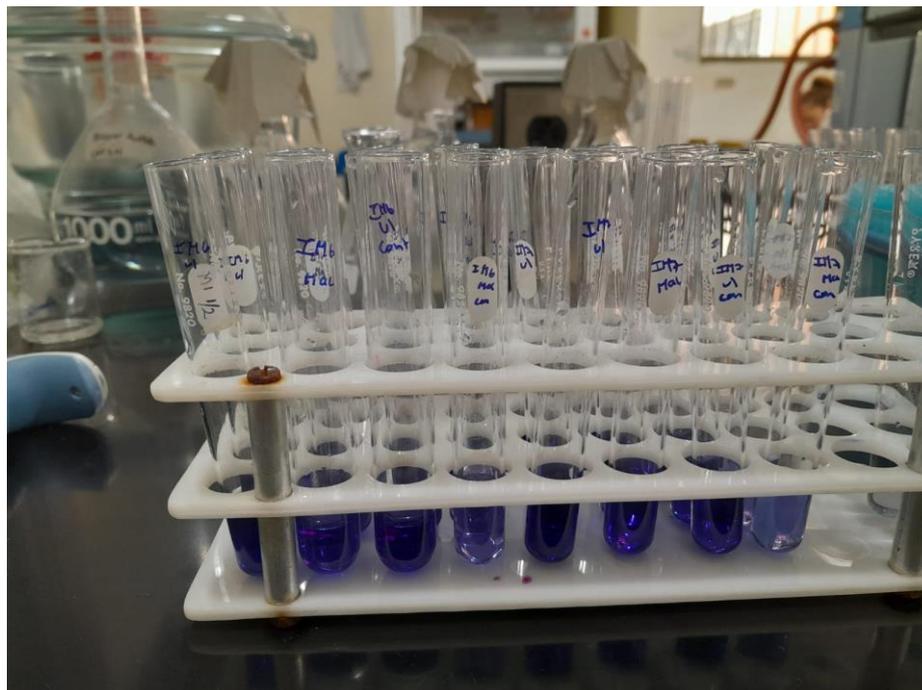
Anexo 11: Preparación de los extractos



Anexo 12: Preparación de las disoluciones para la determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante



Anexo 13: Colocación de la disolución en los tubos de ensayo para ser llevados al espectrofotómetro



Anexo 14: Resultados de análisis de proteína



NEMALAB S.A.

En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP

e-mail: nemalab@lapavic.com.ec

NEMALAB
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) S/N Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel. (593) 2992184

13/02/2023

Página 1

Cliente: ULLAGUARI PORRAS ADRIANA

Remitente: SRTA.DRIANA ULLAGUARI

Propiedad: UTMACH

Localización:

Sitio

Parroquia

MACHALA
Cantón

EL ORO
Provincia

Documento No: 00059278

Fecha de Muestreo: 31/01/2023

Fecha de Ingreso: 31/01/2023

Fecha de Salida: 13/02/2023

Resultados de Análisis Químico de: ANALISIS DE PROTEINA				
Cód. Muestra	No. de Muestra	Identif. de Muestra	%	
			N Total	Proteína
4336	1	IM6	0.51	3.19
4337	2	IM6	0.77	4.81
4338	3	IM6	0.75	4.69
4339	4	IM7	0.88	5.50
4340	5	IM7	0.69	4.31
4341	6	IM7	0.74	4.63

Nemalab S.A. realiza únicamente el análisis químico de la muestra.
Esta Hoja de Resultados es válida sólo con firma y sello en original.

* Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.

Anexo 15: Resultados de análisis de minerales



NEMALAB S.A.

En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP

e-mail: nemalab@lapavic.com.ec

KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) S/N Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel. (593) 2992184

13/02/2023

Pág: 1 / 1

Ciente: ULLAGUARI PORRAS ADRIANA

Documento No: 00059277

Remite: SRTA. ADRIANA ULLAGUARI

Fecha de Muestreo: 31/01/2023

Propiedad: UTMACH

Fecha de Ingreso: 31/01/2023

Localización: Sitio Parroquia Cantón Provincia

Fecha de Salida: 13/02/2023

Resultados e Interpretación de: ANALISIS FOLIAR

Cód. Muestra	No. de Muestra	% en Materia Seca							p.p.m.						Relaciones		
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Zn	Cu	Fe	Mn	Na	B	K/Mg	K/N	N/S
33553	IM6	2.10	0.17	2.42	0.78	0.21	--	--	15.7	8.8	80.1	75.5	62.3	--	11.52	1.15	0.00
33554	IM6	2.50	0.14	3.22	0.54	0.20	--	--	16.9	10.9	98.4	70.8	53.2	--	16.10	1.29	0.00
33555	IM7	2.30	0.15	2.62	0.64	0.20	--	--	23.7	10.2	80.6	80.7	68.3	--	13.10	1.14	0.00
33556	IM7	2.70	0.19	2.59	0.53	0.22	--	--	22.0	11.7	75.8	69.6	55.4	--	11.77	0.96	0.00