



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO
VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA, AAA GROUP)**

**FREIRE HERRERA ANTHONY BENIGNO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MOLINA CEVALLOS GENESIS GABRIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE
BANANO VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA,
AAA GROUP)**

**FREIRE HERRERA ANTHONY BENIGNO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MOLINA CEVALLOS GENESIS GABRIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE
BANANO VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA,
AAA GROUP)**

**FREIRE HERRERA ANTHONY BENIGNO
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**MOLINA CEVALLOS GENESIS GABRIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

MATUTE CASTRO NUBIA LISBETH

**MACHALA
2023**

CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA, AAA GROUP)

por Genesis Gabriela Molina Cevallos y Anthony Benigno Freire Herrera

Fecha de entrega: 30-nov-2023 04:39p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2243496893

Nombre del archivo: DE_BANANO_VARIEDAD_GROS_MICHEL_MUSA_ACUMINATA,_AAA_GROUP_3.pdf
(2.54M)

Total de palabras: 16950

Total de caracteres: 95596

CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA, AAA GROUP)

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.utmachala.edu.ec

Fuente de Internet

5%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5%

Excluir bibliografía

Activo

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

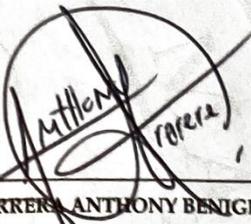
Los que suscriben, FREIRE HERRERA ANTHONY BENIGNO y MOLINA CEVALLOS GENESIS GABRIELA, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO VARIEDAD GROS MICHEL (MUSA ACUMINATA, AAA GROUP), otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma 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.

Los autores 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.

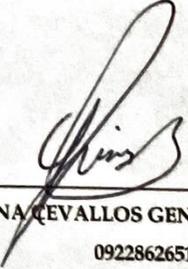
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

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.



FREIRE HERRERA ANTHONY BENIGNO

0706369621



MOLINA CEVALLOS GENESIS GABRIELA

0922862651

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios por haberme brindado salud, sabiduría y entendimiento a lo largo de cada semestre de mi carrera, a mis padres, hermanos y en especial a mi novia y compañera de tesis, por apoyarme en cada decisión que he tomado en mi vida y en mis estudios, a mis profesores por brindarme sus conocimientos que me serán muy importantes para mi vida profesional y a mis compañeros con los cuales he compartido momentos malos y buenos, pero siempre se aprende de lo bueno y de lo malo.

Anthony Freire

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis en primer lugar a Dios por haberme permitido cumplir un objetivo más en mi vida, bendiciéndome cada día con salud y sabiduría, a mis padres y hermanas por su apoyo y amor incondicional, así como a mi novio y compañero de curso durante toda la carrera. También dedico este trabajo a mis profesores por todos sus conocimientos brindados, los cuales serán de gran importancia para mi vida profesional.

Genesis Molina

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento va dirigido en primer lugar a Dios por habernos brindado salud sabiduría y fuerza para terminar nuestros estudios, a nuestros padres, hermanos y compañeros quienes a diario con su presencia, respaldo y cariño nos impulsaron a salir adelante. Así mismo a todos los docentes que tuvimos a lo largo de nuestra carrera profesional por sus enseñanzas compartidas y en especial a nuestra tutora la Ing. Lisbeth Matute por habernos guiado en este proceso y brindado sus conocimientos técnicos y científicos para la elaboración de nuestro trabajo de titulación, así como al Ing. Fabián Cuenca docente encargado de la asignatura de titulación, el cual siempre estuvo dispuesto a ayudarnos en cualquier momento.

Genesis y Anthony

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la composición química de las cáscaras de banano (*Musa Acuminata*) en tres niveles de maduración, con la finalidad de conocer su calidad química, capacidad antioxidante e identificar su potencialidad como ingrediente funcional. Mediante el análisis químico se determinó el valor de pH ($5,18 \pm 0,07$, $4,64 \pm 0,13$ y $5,18 \pm 0,03$) y SST ($1,43 \pm 0,15$, $11,7 \pm 0,95$ y $15,83 \pm 0,64$) tanto en el índice de maduración E2, E6 y E7 respectivamente. El análisis bromatológico determinó el contenido de cenizas, proteínas y grasa en muestras con y sin tratamiento antioxidante. La cuantificación de minerales mostró niveles altos de Na (71,2 y 761), Fe (21,2 y 24,8), Zn ($11,2 \pm 11,6$) y K (3,34 y 3,45) tanto para las muestras con y sin tratamiento antioxidante. Así mismo se determinó la influencia del tratamiento antioxidante y el índice de maduración sobre el contenido fenólico y capacidad antioxidante de las cascara de banano. En este sentido, para evaluar el contenido de fenoles totales se empleó el método de Folin-Ciocalteu y para cuantificar la capacidad antioxidante se usó la técnica 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP), encontrándose que la aplicación del tratamiento antioxidante y el hecho de trabajar con cascara de banano en nivel de madurez 7, se favorece la extracción de compuestos fenólicos ($47,71 \pm 2,64$ mg EAG/g) e incrementa capacidad antioxidante de las muestras evaluadas tanto por el método de ensayo DPPH ($116,76 \pm 0,17$ mg TEAC/g) como en el ensayo FRAP ($90,53 \pm 3,76$ mg TEAC/g). De esta manera se demostró que el tratamiento antioxidante y el avance de la maduración son factores que influyen significativamente sobre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de la cascara de banano. El estudio evidenció que las cáscaras de banano (*Musa Acuminata*) pueden ser utilizadas como ingrediente funcional debido a su alta actividad antioxidante.

Palabras claves: *cáscaras de banano, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, índice de maduración, antioxidantes, alimentos funcionales.*

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents a comprehensive investigation into the chemical composition of banana peels (*Musa Acuminata*) across 3 distinct ripeness levels. The primary objectives of this research were to assess the chemical quality of these peels, gauge their antioxidant capacity, and identify their potential as functional ingredients. Through chemical analyses, significant findings were obtained. The pH values were measured as $5,18 \pm 0,07$, $4,64 \pm 0,13$, and $5,18 \pm 0,03$ for ripeness indices E2, E6, and E7, respectively. Additionally, the soluble solids content (SST) exhibited values of $1,43 \pm 0,15$, $11,7 \pm 0,95$, and $15,83 \pm 0,64$ for the same ripeness levels. In the bromatological study, the content of ash, protein and fat was determined for both the samples with and without antioxidant treatment, respectively. The mineral content displayed notably high levels, with sodium (71.2 and 761), Fe (21.2 and 24.8), Zn (11.2 and 11.6) and K (3.34 and 3.45), for samples with and without antioxidant treatment, respectively. Furthermore, the study delved into the influence of antioxidant treatment and ripeness index on phenolic content and antioxidant capacity. The Folin-Ciocalteu method was employed to assess total phenolic content, while the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay and the ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay were used to quantify antioxidant capacity. Remarkably, this research revealed that the application of antioxidant treatment, coupled with consideration of the ripeness index (E7), facilitated the extraction of phenolic compounds ($47,71 \pm 2,64$ mg EAG/g). Moreover, a substantial increase in antioxidant capacity was observed in both the DPPH assay ($116,76 \pm 0,17$ mg TEAC/g) and the FRAP assay ($90,53 \pm 3,76$ mg TEAC/g). In this way, it was demonstrated that the antioxidant treatment and the advancement of ripening are factors that significantly influence the content of phenolic compounds and the antioxidant capacity of banana peel. The study showed that banana peels (*Musa Acuminata*) can be used as a functional ingredient due to its high antioxidant activity.

Key words: banana peels, antioxidant capacity, phenolic compounds, ripening index, antioxidants, functional foods.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
JUSTIFICACION.....	14
OBJETIVOS	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.	15
MARCO TEÓRICO	16
1.1 Generalidades del banano	16
1.1.1 Origen del banano	16
1.1.2. Importancia del banano en el Ecuador.....	16
1.1.3. Descripción botánica	17
1.1.4. Descripción taxonómica	17
1.1.5. Condiciones medioambientales de cultivo	17
1.2. Composición química y nutricional del banano.....	18
1.3. Composición química y nutricional de la cáscara de banano.....	19
1.3.1 Los antioxidantes	19
1.3.2 Compuestos fenólicos	20
1.4. Maduración del fruto de banano	22
1.4.1 Glucolisis o glicolisis	24
1.4.2 Ruta del ácido shikimico	25
1.5 Alimentos funcionales	26
1.6 Aplicación de la cáscara de banano en la formulación de nuevos alimentos funcionales ...	26
1.7. Método de extracción	28
1.7.1 Ultrasonido	28
1.8 Método para la determinación de los compuestos fenólicos.....	29
1.8.1 Método Folin-Ciocalteu	29
1.9 Método para la determinación de la capacidad antioxidante	29

1.9.1 Ensayo DPPH (capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo).....	29
1.9.2 Ensayo FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica)	29
METODOLOGIA	31
2.1 Materia prima.....	31
2.2 Ubicación de la investigación.....	31
2.3 Preparación de la muestra	31
2.4 Análisis químico de la pulpa de banano	32
2.4.1 Determinación de sólidos solubles (SST)	32
2.4.2 Determinación de pH	32
2.4.3 Índice de maduración	32
2.5 Análisis químico (fenoles totales y capacidad antioxidante) y composición proximal de las cáscaras de banano verde.....	32
2.5.1 Evaluación de la composición proximal	33
2.5.1.1 Determinación de humedad residual.....	33
2.5.1.2. Determinación de Grasas	33
2.5.1.3. Determinación de Cenizas	33
2.5.1.4 Determinación de minerales.....	33
2.5.1.5 Determinación de proteínas	34
2.5.2 Evaluación de la calidad química de las muestras de banano verde	34
2.5.2.1 Diseño experimental para condiciones de extracción	34
2.5.2.2 Preparación de extractos	34
2.5.2.3 Determinación de fenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu.....	34
2.5.2.4 Determinación de la capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2 difenilpicrilhidrazilo (DPPH) equivalente a trolox (TEAC, por sus siglas en inglés)	35
2.5.2.5 Determinación del poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP-TEAC).....	36
2.9 Determinación de metales pesados (arsénico, plomo y mercurio)	37
2.5.2.6 Análisis estadístico	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1 Análisis químicos de la pulpa de banano en tres índices de maduración	38
3.2 Análisis de la composición proximal	39

Los resultados denotados en la Tabla 2 muestran los resultados de la valoración proximal de la cascara de banano verde con y sin tratamiento antioxidante, siendo las cenizas y proteínas el

contenido proximal más alto, mientras que el contenido graso fue el más bajo en ambas muestras.	39
3.3 Análisis de la composición de minerales.....	41
3.4 Análisis del contenido fenólicos y capacidad antioxidante en cáscaras de banano en tres niveles de maduración.....	43
3.5 Evaluación de la influencia del tratamiento antioxidante y los diferentes índices de maduración sobre el contenido fenólico y capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de banano.....	44
3.6 Análisis de metales pesados (arsénico, plomo y mercurio).....	48
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍAS	51
ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Síntesis de fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato.	24
Figura 2. Síntesis de compuestos fenólicos.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Media y desviación estándar de pH y SST de las muestras de pulpa de banano.	38
Tabla 2. Media y desviación estándar de los análisis proximales de las muestras de cáscara seca del banano verde con y sin tratamiento antioxidante.	39
Tabla 3. Análisis de la composición de minerales de las muestras con y sin tratamiento antioxidante de cáscara seca del banano verde.	42
Tabla 4. Media y desviación estándar del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en muestras de extracto de cáscara de banano.	43
Tabla 5. Análisis de varianza de la concentración de fenoles totales, DPPH y FRAP en muestras de extracto de cáscara de banano.	45
Tabla 6. Análisis de metales pesados de la cáscara de banano con índice de maduración 7	48

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador anualmente se produce y exporta gran cantidad de banano. Su cáscara que representa alrededor de un tercio del peso de la fruta se desecha en mayor parte en vertederos o con desechos generales, desperdiándose alrededor de 36 millones de toneladas de cáscara, lo que constituye un serio problema de contaminación ambiental (Mohd et al., 2022).

Este desperdicio es un material de uso potencial para la industria alimentaria, ya que en la cáscara de banano existe una gran cantidad de compuestos bioactivos que poseen actividad antioxidante, como los compuestos fenólicos (galocatequina, flavonoides) y otros fitoquímicos como las aminas biogénicas, fitoesteroles, carotenoides, además de lignocelulosas que están compuestas por celulosas, hemicelulosas y lignina (Silva et al., 2015).

Por ello es importante el estudio de la composición química a través de la investigación científica y tecnológica para así tener posibilidades de crear industrias de procesamientos rentables y responsables con el medio ambiente y en el consumidor.

Los datos epidemiológicos muestran una relación positiva entre el bienestar humano y la ingesta de compuestos antioxidantes en alimentos funcionales, que pueden disminuir el riesgo de diversas enfermedades, como el Alzheimer, cáncer, enfermedades cardiovasculares, entre otras (Banwo et al., 2021).

Del presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto que tiene el índice de maduración y un tratamiento antioxidante, sobre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante en las cáscaras de banano Gros Michel (*Musa acuminata*).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo y producción del banano en el Ecuador permanece en crecimiento constante, así mismo al ser una fruta muy consumida se genera una alta cantidad de desechos, que en su mayoría no se manejan adecuadamente y generan un grave problema ambiental por su alta carga orgánica y contaminación del aire por la generación de gas metano (Riera et al., 2018).

Actualmente una de las alternativas para la formulación de nuevos alimentos funcionales es la utilización de estos residuos con un alto contenido de nutrientes. La piel o cáscara de banano que representa alrededor del 35-40 % del peso del fruto es uno de los principales subproductos de desecho, que podría ser una fuente importante de compuestos bioactivos con gran potencial para uso en la alimentación humana debido a la presencia de carbohidratos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, con efectos benéficos para la salud, además de contribuir al crecimiento económico de la población al generar nuevos ingresos (Torres et al., 2018).

Los alimentos funcionales se definen como alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicamente activos en cantidades específicas, potentes y no tóxicas que brindan beneficios para la salud a través de la prevención, o manejo de enfermedades crónicas no transmisibles o sus síntomas, de esta manera los compuestos bioactivos son componentes químicos en los alimentos funcionales que presentan actividad biológica probada en el cuerpo (Zamora & Barboza, 2020).

Tanto la pulpa como la cáscara de banano contienen gran cantidad de compuestos fitoquímicos beneficiosos para la salud como los compuestos antioxidantes, ya que reducen el riesgo de padecer enfermedades degenerativas como las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, etc. (Montero et al., 2022). Entre estos compuestos también se encuentran los carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, aminos biogénicos, fitoesteroles, catequinas e incluso agentes antimicrobianos. Las cáscaras de banano también son ricas en fibra, hidratos de carbono, proteínas, lípidos y minerales como el zinc, cobre, potasio, hierro, calcio, fósforo y otros compuestos bioactivos (Ali et al., 2021).

Para el diseño y formulación de nuevos de alimentos funcionales es importante conocer los ingredientes activos que nos brindan un efecto positivo en la salud, ya sea en materias primas tradicionales o nuevas. Por ello mediante el presente trabajo de investigación se busca estudiar la calidad química y bromatológica de las cáscaras de banano verde para identificar su potencialidad

como ingrediente de alimentos funcionales, de manera que este subproducto pueda ser aprovechado provocando un impacto positivo en la salud de los consumidores, en el medio ambiente y promoviendo el desarrollo sustentable.

JUSTIFICACION

El Ecuador es uno de los países que produce y exporta banano de muy buena calidad asegurándose de cumplir las exigentes normativas de los países importadores de esta fruta (Vásquez, 2017). El consumo de banano otorga al cuerpo un estímulo energético debido a la cantidad importante de azúcares y otros nutrientes presentes en el fruto, tales como vitamina C y vitamina B6. La alta calidad de sus fitonutrientes ha hecho que la ingesta de la misma se considere un aporte positivo en la lucha por la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Llorente, 2022).

En las agroindustrias se generan todo tipo de desechos, la industria de procesamiento de derivados del banano produce toneladas de cáscara cada semana, en la actualidad las frutas que no cumplen con los parámetros de calidad (longitud, diámetro, índice de madurez etc) para su exportación se destinan al expendio en mercados locales en el mejor de los casos o en su defecto es empleada en alimentación animal o la obtención de subproductos a nivel artesanal. No obstante, para la industria alimentaria los desechos que se generan en las agroindustrias son muy importantes, ya que a partir de estos desechos se pueden producir otra variedad de productos mediante el uso de tecnologías alternativas (Divyabharathi et al., 2017).

La cáscara de banano, debido a su valor nutricional y su riqueza fitoquímica tiene un uso potencial en la industria alimentaria para generar nuevos productos, de hecho, en diferentes lugares esta cáscara tiene uso terapéutico. Los extractos que se elaboran en base a la cáscara de banano presentan compuestos antioxidantes y antimicrobianos, esto convierte a este subproducto en un posible ingrediente funcional (Gomes et al., 2022).

En este trabajo de titulación se pretende evaluar la calidad química de la cáscara de banano maduro para identificar un uso potencial como ingrediente activo en la formulación de alimentos funcionales con actividad antioxidantes.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar la calidad química de las cáscaras de banano Gros Michel (*Musa acuminata*) en tres niveles de maduración mediante el análisis de su composición química y bromatológica para su uso en la industria alimentaria como ingrediente de alimentos funcionales, contribuyendo a la disminución de residuos.

Objetivos específicos.

- Determinar la composición proximal de las cáscaras de banano mediante la aplicación de técnicas analíticas que permitan la valoración de la calidad bromatológica de las muestras.
- Identificar el nivel de maduración en el que se encuentre la mayor cantidad de fenoles totales y por ende la mejor capacidad antioxidante en las cáscaras de Banano variedad Gros Michel (*Musa acuminata*) con o sin la aplicación de un tratamiento antioxidante a través una comparación estadística.
- Evaluar el contenido de metales pesados (arsénico, plomo y mercurio) en las muestras con el más alto contenido de fenoles y la mejor capacidad antioxidante.

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del banano

1.1.1 Origen del banano

El banano tiene su origen en el sureste asiático y en el siglo XVI, se trasladó a América junto con las corrientes migratorias de los comerciantes de Europa. En la actualidad se distribuye por más de 150 países, el número de variedades existentes tiene un aproximado de 1000 que se subdividen en 50 grupos (Li & Ge, 2017).

Dentro de las especies que se cultivan en la actualidad existen dos tipos de especies silvestres que son, las *Musa acuminata* y *Musa balbisianica*, la *M. acuminata* se desarrolla en ambientes húmedos y la *M. balbisianica* se desarrolla en ambientes secos (Guerrero Guerrero & Guevara Arrieta, 2019).

El Banano Gros Michel (*Musa Acuminata*) es una planta herbácea que pertenece al género musa. Es un cultivo nativo del sudeste asiático y fue domesticado por primera vez en Papúa Nueva Guinea. En el siglo XX el banano tenía una muy buena acogida en Europa y Norteamérica, la variedad Gros Michel era en ese entonces la favorita, estableció una reputación como un banano de postre con racimos pesados, simétricos, de fruta grande y color amarillo uniforme en plena madurez con buena calidad para comer, por tal motivo sus cultivos se extendieron a lo largo del continente en distintas zonas tanto tropicales y como subtropicales abasteciendo a muchos compradores para su consumo y exportación, dentro de las características principales de la variedad Gros Michel se destaca su cualidad en relación con el manejo y su conservación (Rijzaani et al., 2022).

1.1.2. Importancia del banano en el Ecuador

La importancia del banano radica en que influye directamente en la economía del país, al ser considerado el cultivo de mayor exportación que constituye una importante fuente de empleo e ingresos para muchas familias después del petróleo, además se considera al banano como el cuarto cultivo alimentario más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz (Capa et al., 2016).

El cultivo de banano tiene una facilidad de adaptación en las zonas del territorio ecuatoriano logrando exportar más de 70 000 000 de cajas representado un valor estimado del 30 % de la producción mundial (Galan et al., 2018).

En el área agrícola de la costa el banano representa un 40 %, y 25 % en el área agrícola nacional, a niveles de producción, El Oro está representado con 43.353 hectáreas mientras que en el Guayas con 44.646 hectáreas y los Ríos con 50.419 hectáreas por ende está representado en relación a la superficie cultivada con un 77 % (Suárez, 2019).

1.1.3. Descripción botánica

La planta de banano Gros Michel es de gran tamaño alcanzando los 6 a 7 m de altura, pueden llegar a tener de 8 a 12 hojas, el pseudotallo es de color verde medio y está formado por vainas foliares similar a un tronco, siendo el peso promedio de su racimo de 24 kg. El ciclo productivo de cada planta toma alrededor de 9 a 10 meses, donde comienzan a aparecer sus primeras flores, las cuales crecen en el raquis formando dedos que luego darán lugar a las manos. Por racimo el número de manos es de 11 (Torres et al., 2020).

El peso de la fruta es de 125 gramos aproximadamente, de los cuales el 75 % es agua y el 25 % contenido de materia seca, posee una longitud de 26 cm y un perímetro de 14 cm, con forma oblonga, alargada y ligeramente curvada. Su cáscara es relativamente espesa de piel amarilla y pulpa blanca, esta variedad de banana es más grande y más dulce que otras variedades, posee una textura delicada por esta razón es comúnmente conocida como «banano de seda» (Torres et al., 2020).

1.1.4. Descripción taxonómica

Gros Michel es un cultivar triploide de los bananos silvestres de *Musa Acuminata*, perteneciente al grupo AAA. De manera oficial se lo denomina como «Gros Michel» *Musa Acuminata* (grupo AAA) (Acevedo, 2016; Pereira y Maraschin, 2015).

1.1.5. Condiciones medioambientales de cultivo

El cultivo de banano es una planta tropical que necesita gran cantidad de agua debido a que posee un sistema radicular fasciculado que extrae gran cantidad de agua y nutrientes para su óptimo crecimiento, la planta se desarrolla bien en suelos fértiles, francos arcillosos, que no superen el 40

% de arcilla, con buen drenaje para evacuar el exceso de agua y un pH óptimo de 6.5. El banano requiere de diversos factores medioambientales para poder desarrollarse, un factor muy importante es la temperatura que va de 20 a 30 ° C, inferiores a los 15 ° C su desarrollo se detiene, así mismo se recomienda cultivar el banano a alturas entre 0 a 300 msnm, una humedad relativa que no exceda del 80 %, para no favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas por ejemplo Sigatoka negra. Otro factor importante es la luminosidad debido a que las plantas usan la luz como fuente de energía para la fotosíntesis, y que a través de ella se produce oxígeno e hidratos de carbono que las plantas lo almacenan y usan como su fuente de alimento (Bahadur et al., 2020).

1.2. Composición química y nutricional del banano

La pulpa de banano posee un alto valor nutricional, ya que está compuesta por hidratos de carbono, fibra dietética soluble e insoluble, esta última en mayor cantidad, vitamina C, vitamina B6, ácido fólico, además de catequinas (epicatequina y galocatequina), lignina, taninos y antocianinas (delfinidina y cianidina). En cuanto a su contenido de minerales se encuentra en mayor porcentaje el potasio, seguido de magnesio, hierro, calcio, sodio, etc. Además, posee un bajo contenido de proteína y grasa, aportando en promedio 85 kilocalorías por cada 100 gramos de porción comestible (Lopes et al., 2020).

El banano posee una fuerte capacidad antioxidante. Según Caicedo et al. (2019), el compuesto galocatequina muestra una fuerte actividad antioxidante y se encuentra más abundante en la cáscara que en la pulpa. Además, su alto contenido de compuestos fenólicos supera al de la cebolla, el tomate, el brócoli y la remolacha. Contienen otros fitoquímicos como flavonoides, aminos biogénicos, timidina, L-dopa fitoesteroles y carotenoides como el α -caroteno, el β -caroteno y la β -criptoxantina que tienen actividad provitamina A, mientras que otros, como el licopeno y la luteína, tienen una capacidad antioxidante significativa (Ali et al., 2021).

Los compuestos con capacidad antioxidante son muy utilizados en la industria alimentaria como aditivos con el fin de impedir el deterioro oxidativo, además de los antioxidantes sintéticos existen los naturales, es decir que forman parte de los alimentos y pueden prevenir o retrasar varios tipos de daños a las células. En los últimos años los compuestos fitoquímicos se han extendido como alimentos funcionales siendo una alternativa natural a la industria alimentaria (Pereira y Maraschin, 2015).

1.3. Composición química y nutricional de la cáscara de banano

La composición nutricional de la cáscara de banano se basa en cantidades variables dependiendo de su estado de madurez en almidón, azúcares solubles, fibra dietética, ácidos grasos poliinsaturados, particularmente ácido linoleico y ácido linolénico, proteínas, aminoácidos esenciales (leucina, valina, fenilalanina y treonina) y potasio como el elemento mineral más importante (Hikal et al., 2022)

La fibra de la cáscara de banano está constituida por fibra dietética y funcional. La fibra dietética es aquella que se produce de forma natural en vegetales, frutas, cereales y nueces, presenta componentes comestibles, carbohidratos no digeribles y lignina. La fibra dietética está formada por fibra soluble que es la responsable del aumento de la viscosidad y disminuye el nivel de glucosa en la sangre e incluye pectinas, gomas, inulina, fructooligosacáridos y por la fibra dietética insoluble que es porosa, tiene baja densidad, se relaciona al aumento del volumen de las heces y favorece el tránsito intestinal, en ella está la celulosa, hemicelulosa y lignina (Balla., 2016). De acuerdo con Meneses et al. (2016), informaron que la fibra dietética insoluble es la fracción de fibra dominante encontrada en la cáscara de banano en distintas variedades estudiadas. Por otro lado, la fibra funcional es una fibra aislada, extraída o sintética que proporciona beneficios a la salud, en ella se encuentra la inulina, almidón resistente, betaglucanos y povidexina.

Además, se debe tener en cuenta el grado de maduración del fruto ya que está estrechamente relacionada con la presencia de fitoquímicos de la cáscara. Por lo que se debe tomar en cuenta el grado de color y madurez existiendo 7 etapas (Rebello et al., 2014). Los compuestos químicos de la cáscara de banano incluyen sustancias antioxidantes como los compuestos fenólicos, antocianinas, etc.

1.3.1 Los antioxidantes

Son compuestos químicos que desarrollan una función vital en el organismo, ya que actúan como sistema de defensa en la prevención del daño oxidativo provocado por los radicales libres, en especial las ROS, interactuando con ellos y neutralizándolos, lo que les impide causar daño, por ello se les considera comúnmente como aquellos compuestos que poseen capacidad antioxidante. En los últimos años se ha promovido el consumo de alimentos que contengan constituyentes con propiedades antioxidantes, debido a que se ha observado una relación positiva entre su consumo y

la baja incidencia de enfermedades que suelen estar asociadas con el estrés oxidativo como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, enfermedad atribuida a un desequilibrio entre la producción de RL y la capacidad del propio organismo para secuestrarlos. Además, también pueden proteger a los alimentos de la oxidación, por lo que su uso se puede expandir a la industria alimentaria debido al bajo costo y la gran cantidad de biorresiduos producidos por los frutos, que se podrían usar como antioxidantes para la elaboración de nuevos alimentos funcionales (Gómez et al., 2019)

Según Vu et al. 2019, la capacidad antioxidante de la cáscara de banano se debe a su contenido en compuestos activos, además explicaron que la actividad antioxidante se originó a partir de metabolitos secundarios como los alcaloides, flavonoides, taninos y saponinas. Los flavonoides también son poderosos antioxidantes que pueden reducir los radicales libres, ya que éstos dañan los tejidos de los órganos y causan diversas enfermedades. De acuerdo a Caicedo et al. (2019), el compuesto químico denominado galocatequina es el responsable de la capacidad antioxidante de la cáscara de banano.

También contiene otros compuestos como antocianinas (delfinidina y cianidina), catecolaminas, carotenoides como β -caroteno, α -caroteno, xantofilas como la luteína un poderoso antioxidante que mantiene la salud de los ojos, esteroides y triterpenos, como β -sitosterol, estigmasterol, campesterol, cicloalcanol, cicloartenol y 24-metilencicloartanol. Además, posee un alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, los perfiles fenólicos de la cáscara de banano fueron crisina, quercetina y catequina. Otros compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, tocoferoles que se consideran potenciales responsables de la actividad antioxidante (Prakash, 2015).

1.3.2 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios importantes, considerados como antioxidantes naturales que están presentes en la cáscara de banano en niveles altos en relación con otras frutas. Su potente actividad antioxidante se debe a los compuestos activos que contiene que suprimen la formación de radicales libres, protegiendo a las células contra el daño oxidativo, poseen un amplio uso terapéuticos, como agentes antioxidantes, antimutagénicos, anticarcinogénicos, antienvjecimiento y antiinflamatorias, por ello su importancia en la salud humana. Además, los fenoles están asociados con las características sensoriales como el color sabor, astringencia y dureza de los alimentos vegetales (Vu et al., 2018).

La cáscara de banano posee una mayor actividad de eliminación de radicales y una capacidad reductora en comparación con otras cáscaras de frutas, debido a una fuerte correlación entre el nivel de contenido fenólico y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno, la capacidad de eliminación de radicales libres y la capacidad de reducción férrica (Vu et al., 2018).

Se han encontrado numerosos compuestos fenólicos, como dopamina (3,4-dihidroxifenil etilamina), serotonina (5-hidroxitriptamina), norepinefrina, salsolinol, delphinidina, ácido gálico, catequina, epicatequina, taninos y antocianinas, se encuentran en la cáscara de banano. El contenido de compuestos fenólicos en la cáscara de banano es generalmente mayor que el encontrado en la pulpa, un ejemplo de ello es la galocatequina que es cinco veces más alta en la cáscara que en la pulpa, por lo que la cáscara es una fuente alta de compuestos antioxidantes (Sidhu y Zafar, 2018).

Según Aquino et al (2016), el contenido fenólico total de las cáscaras de 15 cultivares de banano verde osciló entre 29,02 y 61,00 mg GAE/100 g y para las maduras estuvo entre 60,39 y 115,70 mg GAE/100 y se demostró que los compuestos fenólicos son los principales antioxidantes dentro de la cáscara. En otros estudios realizados por Vu et al (2018), identificaron 40 compuestos de la cáscara de banano sobre la base de fenoles individuales con un contenido total de 47 mg de equivalente de ácido gálico (GAE)/g de materia seca (MS), además que los compuestos fenólicos que se encuentran en la cáscara del banano se pueden clasificar en cuatro subgrupos, flavonoles, ácido hidroxicinámico, flavan-3-oles y catecolaminas.

Dentro de los compuestos fenólicos de la cáscara de banano se encontraron dos tipos de flavonoides, los flavonoles y flavan-3-oles. Con respecto a los flavonoles son un tipo de compuestos fenólicos flavonoides que se encuentran fácilmente en muchas frutas, estos compuestos fueron detectados en la cáscara de plátano estudiada en cantidades de alrededor de 129 mg/kg (como equivalentes de quercetina-3-rutinósido), los glucósidos a base de quercetina fueron los flavonoles más importantes en la harina de cáscara de plátano y representaron alrededor de la mitad del total de flavonoles (Dong et al., 2016).

Otros flavonoles identificados fueron los conjugados con hexosas, glucósidos de flavonoides, principalmente 3-rutinósidos. Además, dentro de los ácidos hidroxicinámicos, el ácido ferúlico tiende a dominar sobre otros compuestos. Por otro lado, los flavan-3-oles encontrados en la cáscara de banano están compuestos por monómeros, dímeros y polímeros. Entre los monómeros, la

galocatequina se encontró en mayor cantidad (158 mg/100 g MS). Cabe destacar que se ha informado que este compuesto está asociado con la potente capacidad antioxidante del extracto de banano. Además, existe la presencia de grandes cantidades de dopamina y L-dopa, catecolaminas con actividad antioxidante significativa. Los estudios también han informado que el contenido de dopamina en la cáscara (80–560 mg/100 g) era muchas veces mayor que el que se encuentra dentro de la pulpa (2,5–10 mg/100 g) (Passo et al., 2015).

1.4. Maduración del fruto de banano

El banano es una fruta climatérica, cuando se cosecha en la etapa de madurez preclimatérica (verde), la fruta sufre varios cambios fisicoquímicos, como composición, color, textura, aroma y sabor, relacionados con cambios en las tasas metabólicas y reacciones bioquímicas como respiración, maduración y senescencia en la fase climatérica (Xiao et al., 2018).

La maduración del banano es una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que le permiten alcanzar sus propiedades sensoriales características como el color, sabor, aroma y textura. Se asocia con un aumento en la tasa de respiración, la conversión de carbono en forma de almidón en sustancias que alteran la percepción del sabor de la fruta y con la síntesis autocatalítica de etileno. La acción del etileno da como resultado el ablandamiento de la fruta, la aceleración del deterioro y el acortamiento de la vida útil poscosecha (Moreno et al., 2020).

Entre los cambios fisiológicos y fisicoquímicos esta la hidrólisis del almidón en azúcares solubles como sacarosa, glucosa y fructosa, las enzimas asociadas con la hidrólisis del almidón son las amilasas, glucosidasa, fosforilasa, sacarosa sintasa e invertasa. Debido a la producción de azúcares solubles el contenido de TSS y grados Brix aumenta. Según Sripaurya et al. (2021), en el caso de Gros Michel, los SST aumentan hasta el sexto día de almacenamiento y luego disminuyen al final de la maduración por la conversión de azúcares a alcohol. Así mismo se caracterizan por una disminución en el pH de la pulpa debido a la producción en gran parte de ácido málico durante la maduración y por un aumento en la acidez titulable total. La acidez titulable es un indicador de la calidad de la fruta, ya que influye en el sabor.

Otro de los cambios es la degradación de la clorofila, es decir la pérdida del color verde en la cáscara y la intensificación del color amarillo debido a la síntesis de pigmentos como los

carotenoides durante la maduración. Los cambios externos en el color de la cáscara durante la maduración a menudo reflejan los cambios del color de la pulpa. A su vez, la síntesis y degradación de los pigmentos está controlada por la actividad de las enzimas como la feoforbido a Oxigenasa en el caso de la clorofila (Vásquez et al., 2019)

Por otro lado, un estudio de Vú 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 sobremaduraba, lo que indica que las propiedades antioxidantes están correlacionadas con los componentes fenólicos en lugar de las clorofilas y los carotenoides. Por lo tanto, la etapa de maduración debe ser considerada en función de su uso potencia.

El proceso de maduración también afecta el contenido fenólico de la cáscara de banano, haciendo que éste disminuya a medida que la fruta madura. En la investigación realizada por Vu et al. (2018), mencionan que la cáscara sobremadurada contiene un 52 % menos de contenido fenólico que la cáscara verde. Se registraron observaciones similares para el contenido total de flavonoides.

Así mismo el contenido fenólico, de flavonoides y la capacidad antioxidante de la cáscara de la fruta madura y sobremadurada son más bajos que los de la cáscara verde. También a medida que la piel cambia de verde a amarillo, se reducen muchos compuestos individuales como la naringina, la rutina, la norepinefrina y la dopamina (Mohd Zaini et al., 2022).

En otro estudio realizado por Espinosa & Santacruz. (2019), mencionan que el contenido de taninos en la cáscara de *Musa cavendish*, *Musa acuminata* y *Musa cavandanaish* disminuye durante el proceso de maduración de la fruta, haciendo desaparecer el sabor amargo y astringente característico del banano verde. Por ello se considera que en las primeras etapas de madurez organoléptica las tres variedades de banano son una buena fuente de compuestos fenólicos y taninos.

Resultados similares presenta Fernando et al. (2014), en su investigación se observó que en el banano «Khai», el contenido fenólico aumentó con el avance de la maduración, particularmente a los 6 días de mantenimiento, antes de disminuir ligeramente a los 8 días cuando la fruta estaba completamente madura y disminuir notablemente a los 10 días cuando la fruta se sobremaduró. Además, el contenido fenólico, particularmente los taninos que son responsables del sabor

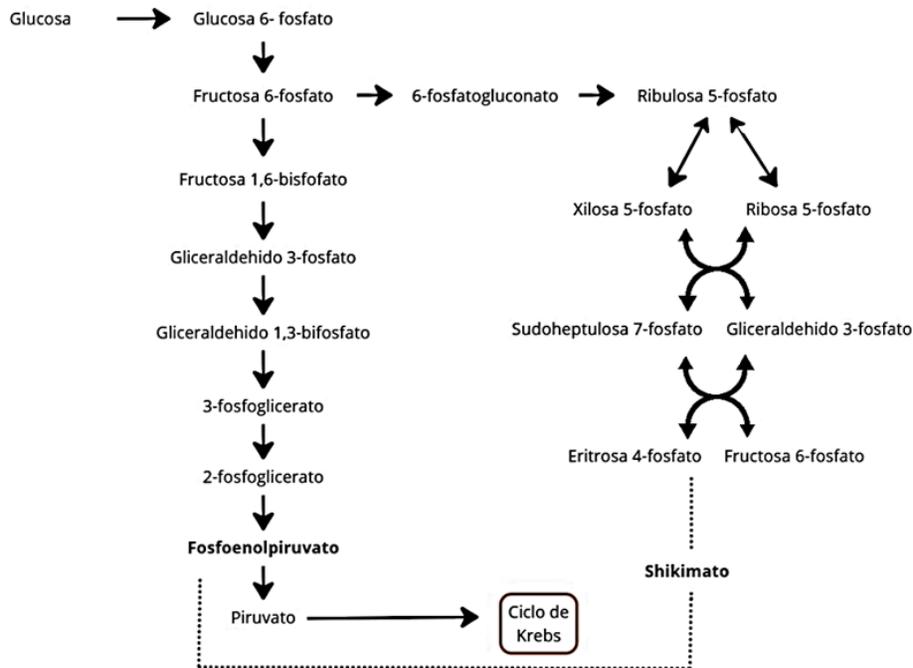
astriigente de las frutas verdes disminuyeron con la maduración debido principalmente a la polimerización que las hace insolubles e indetectables al gusto.

Así mismo el incremento en el contenido de compuestos fenólicos durante la maduración, se debe a la hidrólisis del almidón en azúcares solubles, lo cual favorece la síntesis del shikimato, precursor de los fenilpropanoides (Domínguez et al., 2018).

1.4.1 Glucolisis o glicolisis

Es una vía metabólica, que se compone por diez reacciones enzimáticas, mediante la cual se degrada una molécula de glucosa hasta la obtención de dos moléculas de piruvato, además es la principal ruta metabólica para obtener energía en forma de ATP y de NADH, como se muestra en la Figura 1 (Herrera et al, 2016).

Figura 1 de fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato.

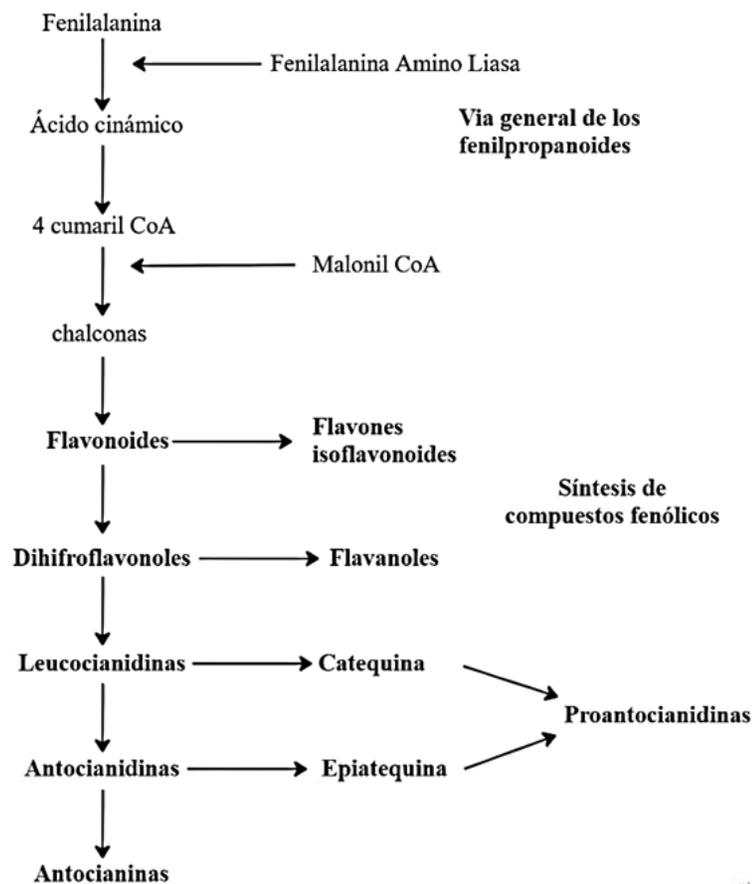


Fuente: Herrera et al, 2016.

1.4.2 Ruta del ácido shikimico

La ruta del ácido shikimico empieza con la interacción de productos del metabolismo primario como la eritrosa 4- fosfato y el fosfoenolpiruvato, que provienen de la vía de las pentosas y glicólisis. La síntesis del shikimato actúa como precursor del corismato que es un metabolito central y sustrato de dos enzimas la Antralinato sintasa y Corismato mutasa, que permiten la formación de la fenilalanina, triptófano y tirosina. De la fenilalanina se derivan la mayoría de los compuestos fenólicos, ya que cuando se sintetiza la fenilalanina se activa la enzima fenilalanina amonoliasa (PAL), primer paso en el metabolismo de los fenilpropanoides, es decir desencadena la producción de compuestos fenólicos, como flavonoides, antocianinas y taninos entre otros, como se muestra en la Figura 2 (Herrera et al, 2016).

Figura 2. *Síntesis de compuestos fenólicos.*



Fuente: Herrera et al, 2016.

1.5 Alimentos funcionales

A lo largo del tiempo ha aumentado mucho la influencia de la dieta en la salud y el bienestar de las personas, por ende, se ha llevado a cabo el diseño de nuevos alimentos que sean saludables y que reduzcan el riesgo de enfermedades crónicas, estos tipos de alimentos son denominados como alimentos funcionales, son aquellos alimentos tradicionales modificados de tal manera que benefician a la salud a comparación con los productos no modificados (Fuentes et al., 2015).

En una investigación realizada por Mohd Zaini. et al. 2022, menciona que la cáscara de banano es una materia prima potencial para ser trasformada en alimentos funcionales, debido a sus componentes bioactivos, especialmente los compuestos fenólicos que se encuentran en la cáscara de banano y están agrupadas como flavonoles, ácidos hidroxicinámicos, flavan-3-oles y catecolaminas, también por su alto contenido nutricional y aporte en fibra dietética. Además, se ha demostrado que en productos a base de carne tiene un efecto de reducción oxidativa de los lípidos.

1.6 Aplicación de la cáscara de banano en la formulación de nuevos alimentos funcionales

Según Ortiz et al. (2017), evaluaron el uso del extracto de cáscara de Banana (*Musa acuminata* Colla AAA) como fuente de antioxidantes en jugos de naranja recién exprimidos y jugos de concentrados, además se determinó la concentración del extracto de cáscara de banana (BPE) en jugo de naranja que produce la máxima actividad antioxidante, con características sensoriales y fisicoquímicas aceptables para el consumidor. Como resultado se obtuvo que la capacidad de eliminación de radicales libres (DPPH) aumentó al agregar extractos de cáscara de banano a una concentración $\geq 2,5$ mg BPE/ml de jugo, el aumento en comparación con el jugo convencional (sin BPE) fue de alrededor del 21-28 % en ambos tipos de jugo de naranja.

Además, se observó aumentos notables en la capacidad antioxidante usando ácido 2,2'-acino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) cuando se adicionó una concentración ≥ 5 mg de extracto de cáscara de banano por mililitro de jugo recién exprimido. La adición de 5 mg BPE/ml de jugo de naranja no modificó sustancialmente las características fisicoquímicas y sensoriales de ninguno de los dos tipos de jugo. Sin embargo, cuando se añadieron 10 mg o más de BPE/ml de jugo de naranja se detectaron cambios indeseables en las características sensoriales (sensaciones en la boca y color). Por lo tanto, estos resultados confirman que la cáscara de plátano es un aditivo

natural prometedor que aumenta la capacidad de captación de radicales libres del jugo de naranja con características sensoriales y fisicoquímicas aceptables para el consumidor (Ortiz et al., 2017).

En un estudio de Esak. (2016), evaluaron el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cáscara de banano en los aspectos fisicoquímicos y sensoriales de un pan plano balady egipcio. Los resultados de la composición química mostraron el aumento de proteínas y fibra, siendo útiles en el tratamiento del estreñimiento y mejoran la salud general. Además, tuvo un mayor contenido de K, Na, Ca, Fe, Mg y Zn en comparación con el pan control, debido a que la harina de cáscara de banano tiene un mayor contenido de cenizas que la harina de trigo.

En otro estudio de Kurhade et al. (2015), se evaluó el efecto del polvo de cáscara de banano sobre los componentes bioactivos y la calidad microestructural del chapatti. La masa chapatti se preparó a partir de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de cáscara de banano sobre una base de harina. Chapatti incorporado con polvo de cáscara de banano mostró un contenido fenólico total y un contenido de flavonoides significativamente más altos que el control. Además, al incorporar un 20 % de cáscara de banano mostró una actividad de eliminación de radicales DPPH de hasta un 68,3 %.

En una investigación de Mohd Zaini. et al. (2022), utilizaron el polvo de la cáscara de banano para desarrollar una salchicha de pollo con mayor contenido de fibra dietética. Se realizó una comparación entre la salchicha de pollo con y sin polvo de cáscara de banano y por medio del análisis químico se demostró que hubo un aumento significativo en la ceniza y la fibra dietética en la salchicha de pollo con adición de polvo de cáscara de banano. También se pudo observar otros resultados en cuanto al contenido de grasa que disminuyó de 9,18 % que tenía la salchicha de pollo normal a 7,67 % la que se le adicione 2 % de polvo de cáscara de banano, también hubo una mejora significativa en la capacidad de retención de agua. En cuanto a los lípidos inhibe la oxidación hasta en un 55 % en comparación con la salchicha normal que fue refrigerada a ± 4 °C por 30 días.

En un estudio se utilizó la harina de banano para el desarrollo de galletas funcionales a razón de 5 %, 10 % y 15 % sin alterar el contenido total de la harina de trigo. Las galletas desarrolladas tenían un alto contenido total de fibra dietética total (15,78 % – 36,74 %), cenizas y humedad. En cuanto a las proporciones de esparcimiento y la intensidad de ruptura disminuyeron con el aumento del porcentaje de la harina de cáscara de banano, hubo un aumento del contenido fenólico de 4,36 mg GAE a 5,28 mg GAE. En el ámbito sensorial, las galletas con el 10% de harina de cáscara de

banano son más deseables debido a la mejora de color, sabor y textura en comparación con otras formulaciones (Mohd Zaini. et al., 2022)

1.7. Método de extracción

La extracción es uno de los pasos clave en el aislamiento y la utilización de compuestos bioactivos de diversos materiales vegetales. La extracción con disolventes se usa, generalmente, para la preparación de extractos de material vegetal debido a su amplia aplicabilidad, eficiencia y facilidad de uso. Los disolventes orgánicos más utilizados para la extracción de compuestos fenólicos incluyen metanol, etanol, acetona y acetato de etilo. Las técnicas de extracción líquida, como la maceración, se utilizan principalmente para obtener extractos de compuestos bioactivos a partir de material vegetal. Sin embargo, los procesos de extracción por disolventes convencionales tienen ciertas limitaciones, como la alta temperatura de extracción, menor eficiencia, bajo rendimiento de extracción, uso de grandes cantidades de solventes, resistencia a la transferencia de masa y riesgos para la salud (Jabbar et al., 2015).

1.7.1 Ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido es un método no convencional que implica un menor costo de funcionamiento, un mayor rendimiento de extracción, ahorro de energía, menos uso de disolventes y una reducción considerable en el tiempo y la temperatura de extracción, lo que evita la degradación y pérdida de componentes termolábiles (Stanković et al., 2022)

Esta técnica consiste en mezclar la muestra con un disolvente orgánico en un matraz o vaso de precipitados y colocarla en un baño ultrasónico con tiempo y temperatura preestablecidos. Las ondas ultrasónicas se propagan a través del disolvente durante la extracción de los componentes activos y provocan una presión negativa del disolvente. Como resultado, se forman, crecen e implosionan burbujas de cavitación. Durante la implosión, hay un aumento de la temperatura y la presión a nivel molecular, lo que daña la pared celular de las celdas de la muestra liberando material intracelular, y por consiguiente la extracción de componentes activos. En general, la duración del proceso es inferior a 1 hora, pero el rendimiento de extracción es del 6 % al 35 % más alto que el obtenido usando técnicas de extracción tradicionales con un tiempo de extracción más largo de 12 o más horas (Safdar et al., 2017).

1.8 Método para la determinación de los compuestos fenólicos

1.8.1 Método Folin-Ciocalteu

Este método se basa en la reducción química del reactivo (mezcla de óxidos de wolframio y molibdeno). Al presentarse la reducción de los óxidos metálicos se observa un color azul intenso esa reacción se lleva a cabo en un medio básico (pH =10) lo cual tiene una amplia absorbancia de la luz con una longitud de onda máxima a 765 nm. En cuanto a la química de los wolfratos y molibdatos es muy compleja. Los isopolifosfowolfratos son incoloros en el estado de valencia 6+ completamente oxidado del metal y los compuestos de molibdeno son amarillos. Forman heteropolifosfowolfratos-molibdatos mixtos y existen en una solución ácida como complejos octaédricos hidratados de óxidos metálicos coordinados alrededor de un fosfato central. Las secuencias de reducciones reversibles de uno o dos electrones conducen a especies azules como $(\text{PMoW}_{11}\text{O}_{40})^{4-}$. En principio, la adición de un electrón a un orbital no enlazante reduce las unidades nominales de MoO^{4+} a especies azules isoestructurales de MoO^{3+} . La intensidad de la luz es proporcional a la concentración de fenoles (Rover & Brown, 2013).

1.9 Método para la determinación de la capacidad antioxidante

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

Este método consiste en la captación de radicales libres con el objetivo de determinar la capacidad antioxidante de un alimento. El proceso se basa en atrapar un electrón o átomo de hidrógeno mediante la molécula 1,1-difenil-2-picrilhidrazina, posee una coloración violeta intenso y es medida por espectrofotómetro por medio de una longitud de onda de 517 nm, el color violeta va disminuyendo a color amarillo por la presencia de antioxidantes, por ende, el color amarillo representa la presencia de las propiedades antioxidantes en las muestras analizadas (Pyrzynska & Pękal, 2013).

1.9.2 Ensayo FRAP (poder antioxidante de la reducción férrica)

Este ensayo se basa en medir los niveles totales de antioxidantes en una muestra, utilizando el potencial reductor de los antioxidantes para reaccionar con un complejo de la tripiridiltriazina férrica (2,4,6-tripiridil-s-triazina) teniendo un aspecto incoloro, al complejo ferroso, optando con

una coloración azulada midiéndolo en espectrofotómetro con una longitud de onda de 593 nm, esta reacción se da en un pH bajo (3,6) (Shah & Modi, 2015).

METODOLOGIA

2.1 Materia prima

En este estudio se utilizó cáscara de banano Gros Michel (*Musa Acuminata*) en tres etapas de maduración, la primera es la etapa 2 («verde claro»), la segunda es la etapa 6 («totalmente amarillo») y la tercera es la etapa 7 («amarillo con puntos cafés»), según la escala de Von Loesecke (Moreno et al., 2021). La materia prima fue obtenida de las plantaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

2.2 Ubicación de la investigación

El lugar donde se realizó la investigación fue en la Universidad Técnica de Machala, en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias ubicada en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador.

2.3 Preparación de la muestra

Para la preparación de las muestras se procedió a lavar las frutas enteras con agua potable, luego se preparó una disolución desinfectante-agua (1:001 v/v), y se sumergieron las frutas durante 5 minutos. El desinfectante comercial empleado fue el «Star bac domestic». Una vez desinfectadas las frutas, se inició con el proceso de pelado, luego las cáscaras obtenidas se dividieron en dos partes iguales para realizar dos tratamientos (con antioxidante y sin antioxidante). Para aquellas con tratamiento antioxidante se las sumergió en una disolución de 9000 ml de agua y 1,5 % de ácido cítrico (135 g), 1 % de ácido ascórbico (90 g) y 0,5 % de ácido tartárico (45 g) durante 10 minutos, en el caso de las cáscaras verdes. Para las pintón y maduras se procede hacer la inmersión en 3000 ml de agua y una disolución de 1,5 % de ácido cítrico (45 g), 1 % de ácido ascórbico (30 g), 0,5 % de ácido tartárico (15 g) durante 10 minutos. Las cáscaras se trocearon en tiras finas para su posterior secado.

Una vez listas las cáscaras se procede a realizar el proceso de secado en la estufa (Memmert UF, Memmert, Alemania) a 45 °C, con una ventilación y trampilla abierta al 100 % por 24 a 48 h. Después se procede a moler con un triturador de alimentos y luego se pasa por un tamiz (Humboldt, Elgin, U.S.A.) malla N. ^a 100 donde se obtuvo la harina con un tamaño de partícula de 150 micras. Al finalizar el proceso se coloca la harina en fundas ziploc con cierre hermético.

2.4 Análisis químico de la pulpa de banano

2.4.1 Determinación de sólidos solubles (SST)

El contenido de sólidos solubles (SST) se determinó de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 380:1985-12) utilizando un refractómetro (Hanna modelo HI 96801, Bogotá, Colombia).

2.4.2 Determinación de pH

El pH nos indica la concentración de iones de hidrógeno que están presentes en determinadas disoluciones, en este caso el valor del pH se determinó mediante (NTE INEN 389:1985-036) utilizando un potenciómetro portable multiparamétrico (Bante, Shanghai, China).

2.4.3 Índice de maduración

La evaluación de los estados de maduración de los frutos se realizó de acuerdo a la escala propuesta por Von Loesecke (Moreno et al., 2021) para banano «Gross Michel» que va desde la etapa 1 con coloración totalmente verde, pasando por diversas tonalidades entre verde amarillo, hasta llegar a la etapa 7, cuya coloración es amarillo intenso con pecas de color café (Anexo 1).

2.5 Análisis químico (fenoles totales y capacidad antioxidante) y composición proximal de las cáscaras de banano verde

Es preciso mencionar que el foco de interés de esta investigación es el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las cáscaras. En este sentido varios estudios en otras especies vegetales reportan que la cantidad de estos compuestos aumenta con el incremento de la maduración (Aquino et al., 2016, Vasundhara et al., 2021). La presente investigación pretendía corroborar si este fenómeno ocurre de manera similar en el banano Gross Michel (*Musa Acuminata*). Como información complementaria a la caracterización química de la cascara de banano se valorará la calidad proximal de esta cascara en estado verde y se verificará en la literatura especializada que sucede con la composición proximal a medida que avanza la maduración. En un estudio previo se analizó la composición proximal de la cascara de banano en estado de maduración pintón y maduro respectivamente. Se aclara además que se decidió evaluar en estado verde debido a que esta investigación pretende dar información respecto a posibles usos de la cascara de banano como ingrediente activo, por tanto, al ser de interés como un potencial

antioxidante en estado maduro según lo que refiere la literatura, queda por conocer que posible utilidad pudiese tener en estado de maduración temprana, para ello se analizó la composición proximal en estado verde.

Los análisis bromatológicos que se llevaron a cabo a cada una de las muestras (con tratamiento antioxidante y sin tratamiento) de la cáscara de banano verde (polvo), fueron el de humedad, grasa, cenizas, minerales y proteína. Las muestras en cada análisis se trabajaron por triplicado.

2.5.1 Evaluación de la composición proximal

2.5.1.1 Determinación de humedad residual

Para determinar el contenido de humedad residual se utilizó el analizador de humedad (Ohaus, México, D.F, México).

2.5.1.2. Determinación de Grasas

La determinación de grasa se realizó mediante la extracción Soxhlet empleando hexano como disolvente en una cantidad de 200 ml por cada muestra, de acuerdo a lo establecido en el método oficial normalizado de la AOAC, (1990), ítem (920.39). La extracción se efectuó durante 4 horas, el resultado se expresa como porcentaje de extracto etéreo.

2.5.1.3. Determinación de Cenizas

El contenido de cenizas se determinó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC. Se procedió a colocar las muestras en un horno de mufla para su calcinación/incineración durante 6 horas a 700 °C. Los residuos de incineración se calcularon por diferencia de peso y se expresan como porcentaje de cenizas.

2.5.1.4 Determinación de minerales

La determinación del contenido de minerales se realizó en el laboratorio NEMALAB 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, potasio y zinc presentes en la cáscara de banano.

2.5.1.5 Determinación de proteínas

El contenido de proteína se determinó multiplicando el contenido de nitrógeno (obtenido en el análisis foliar realizado en el laboratorio NEMALAB S.A) por el factor de conversión de nitrógeno a proteína dado por el laboratorio, el cual es 6.25.

2.5.2 Evaluación de la calidad química de las muestras de banano verde

2.5.2.1 Diseño experimental para condiciones de extracción

Se empleó un diseño factorial con la finalidad de determinar la mejor condición de extracción, considerando como variables independientes al tratamiento antioxidante y el estado de maduración, y como variables dependientes o variables respuestas el contenido fenólico y la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH y FRAP.

2.5.2.2 Preparación de extractos

Se pesó 2 g de cada una de las muestras de cáscara de banano verde y pintón y se les añadió 80 ml de una disolución hidroalcohólica (80:20 v/v), luego se pesó 0,85 g de la muestra de la cascara de banano maduro sin antioxidante y 0,5 g de la muestra con antioxidante, a las cuales se les añadió 34 ml y 20 ml de la solución hidroalcohólica (80:20 v/v), respectivamente. Para facilitar la extracción empleó un baño ultrasónico, en (Ultrasonic fischer scientific, Waltham, USA) por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente. Una vez transcurrido el tiempo de extracción se procedió a filtrar y utilizar el líquido filtrado.

2.5.2.3 Determinación de fenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu

Los fenoles totales se determinaron siguiendo la metodología descrita por Singleton et al., (1999). Se preparó una curva de calibración utilizando una 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.

Preparación de reactivos:

Solucion diluida de Folin- Ciocalteu (10 %): se procedió a tomar 10 ml del reactivo Folin-Ciocalteu y se diluyo en 100 ml de agua destilada.

Solucion de carbonato de sodio (7,5 %): se pesó 7,5 g de Na₂CO₃ anhidro y se disolvió en 100 ml de agua destilada.

Ensayo: En tubos de ensayos de aproximadamente 20 ml de capacidad se adicionó 50 µL del extracto (muestra) con 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (10 %) y 450 µL de agua destilada, se agitó con ayuda de un vortex (Thermo Scientific, Waltham, U.S.A.) y se dejó reposar por 5 minutos. A continuación, se le agregó 2 mL de Na₂CO₃ (7,5 %), se agitó nuevamente y se dejó en reposo durante 2 horas.

Transcurridas las dos horas a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad se colocó cada una de las muestras en microceldas de 2 mL y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm, con un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Waltham, USA).

Los resultados del contenido de fenoles totales se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/g de muestra fresca y para la determinación de la cantidad de fenoles totales de cada muestra se realizó un análisis de regresión lineal a partir de una curva de calibración, en la que se obtuvo la siguiente ecuación:

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

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

Preparación de la solución DPPH (0,1 mM): Se procedió a pesar 0,0038 g de DPPH, luego se llevó a un balón volumétrico de 100 ml y se aforó con una disolución hidroalcohólica (80:20)

Ensayo: Para la determinación de DPPH (Brand-Williams et al., 1995), con modificaciones, se tomó 200 µL de extracto y se le adicionó 3,8 mL de la disolución de DPPH al 0,1 mM. El control de DPPH se preparó mezclando 200 µL de solución hidroalcohólica (80:20) y 3,8 mL de DPPH (0,1 mM). Las disoluciones preparadas se sometieron a agitación en vórtex (Thermo Scientific, USA) para luego ser dejadas en reposo por 30 minutos en condiciones de oscuridad y a temperatura ambiente. Posteriormente, se colocó cada muestra en microceldas de 2 mL y se hicieron las lecturas directas de absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro (UV-Visible Spectrophotometer

Evolution 201 Thermo Scientific, Waltham, USA), como blanco se utilizó la solución hidroalcohólica (80:20).

Para determinar la capacidad antioxidante se realizó una curva de calibración utilizando como patrón de cuantificación 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:

$Y = -3,6507 + 308,13 * \text{concentración (mg/mL)}$ con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9912

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

Preparación de reactivos:

Solución buffer de acetato 300 mM (pH 3,6): Se procedió a pesar 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. Después se adicionó 16 mL de ácido acético glacial y se complementa el volumen hasta un litro con agua destilada. Al finalizar se comprueba el pH final y se ajusta el pH si es necesario (3,6).

Solución de HCl 40 mM: Se procedió añadir aproximadamente 3,3 mL de HCl conc. para 1 L de agua destilada.

Solución 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridil – s-triazina) en HCl 40 mM: Se pesó 0,0156 g de TPTZ para 5 mL de HCl 40 mM.

Solución de FeCl_3 20mM: Se pesaron 0,0162 g de FeCl_3 anhidro y se disolvió en 5 mL de agua destilada.

Solución de reactivo FRAP: Se preparó mezclando 50 mL de solución buffer de acetato (pH: 3,6) 5 mL de solución TPTZ 10 mM y finalmente con 5 mL de solución FeCl_3 20 mM. La solución se incubó a 37 °C por 30 minutos.

Ensayo: Se procedió a colocar 50 μL de la dilución de la muestra y 1,5 ml del reactivo FRAP en los tubos de ensayo, se usó como blanco la disolución de FRAP. Luego se llevó a cabo el proceso

de agitación a cada tubo de ensayo en vórtex (Thermo Scientific, Waltham, USA) y se dejó reposar por 5 minutos.

Luego se procedió a colocar cada muestra en microceldas de 2 mL para medir la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible spectrophotometer evolution 201 Thermo Scientific, Waltham, USA).

Para determinar la capacidad antioxidante se realizó una curva de calibración mediante 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 Determinación de metales pesados (arsénico, plomo y mercurio)

La determinación de metales pesados se realizó en el laboratorio LABOLAB en la ciudad de Quito, donde utilizaron el método de Gutzeit Modificado para la determinación de arsénico, Standard methods 3111B Modificado para la determinación plomo y Standard Methods 3112B Modificado para determinación de mercurio, presentes en las muestras de cáscara de banano con más alto contenido de fenoles y mejor capacidad antioxidante.

2.5.2.6 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 los diferentes índices de maduración y tratamiento antioxidante presentan diferencias estadísticamente significativas. También se aplicó una prueba de múltiples rangos (LSD) de Fisher con un nivel de confiabilidad del 95 % para evaluar la significancia entre los tres índices de maduración. El programa empleado para el análisis estadístico fue el STATGRAPHICS Centurion XVI.I. VERSIÓN 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis químicos de la pulpa de banano en tres índices de maduración

En la Tabla 1, se muestran los valores obtenidos de la caracterización química de las muestras de la pulpa de banano, a través de estos análisis y la comparación con las publicaciones de otros autores se logró determinar el grado de maduración del fruto.

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

Parámetros	Muestra índice de maduración 2 ± Ds	Muestra índice de maduración 6 ± Ds	Muestra índice de maduración 7 ± Ds
Potencial de hidrógeno (pH)	5,18 ± 0,07	4,64 ± 0,13	5,18 ± 0,03
Sólidos solubles (SST)	1,43 ± 0,15	11,7 ± 0,95	15,83 ± 0,64

En este sentido y tal como observa en esta tabla, el pH de la pulpa disminuye en la primera fase de maduración hasta alcanzar el índice de maduración 6, pero luego se incrementa cuando alcanza el índice de maduración 7, mostrando un comportamiento oscilatorio al menos dentro del tiempo en el que fueron evaluadas las muestras. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Vasundhara et al. (2021), en el cual informaron que el pH disminuye con la maduración e incrementa durante la senescencia.

En el estudio de Sripaurya et al. (2021), consideran que el incremento en la acidez y la disminución en el valor del pH puede estar relacionado con la producción principalmente de ácido málico y otros ácidos formados por la oxidación de los azúcares del banano, bajo condiciones anaerobias en la pulpa durante la maduración. Así mismo también se asocia con la degradación de almidón en azúcares reductores o su conversión en ácido pirúvico provocado por la respiración de las frutas.

Según Chandra et al. (2021), los cambios en los valores de pH en frutos de este tipo tienen una alta incidencia en la pérdida de color verde que ocurre durante la maduración, como consecuencia de la degradación de la clorofila, es decir la conversión de clorofilas en feofitinas a un pH moderadamente ácido, esto se debe a una reacción llamada feofitización en la cual los iones de hidrógeno pueden transformar las clorofilas por sustitución del ion magnesio en el anillo de porfirina por otro tipo de protones para dar la formación de la feofitina.

En el caso de los sólidos solubles, según se observa, el contenido incrementa conforme el fruto madura; estos resultados coinciden con lo encontrado por Vasundhara et al. (2021), en el cual el mayor aumento en azúcares ocurre cuando el fruto comienza a tornarse amarillo, es decir cuando se encuentra en estado maduro, acelerándose la síntesis de estos compuestos hasta llegar a la sobremadurez.

Este comportamiento se debe a la degradación del almidón en azúcares solubles como la glucosa, fructosa, sacarosa y pequeñas cantidades de maltosa y raminosa que son los constituyentes principales de los sólidos solubles (Amarasinghe et al., 2021). Las enzimas encargadas de la transformación del almidón en azúcares son las amilasas presentes en la fruta inmadura. En el caso de Gros Michel, los SST aumentan hasta el sexto día de almacenamiento y luego disminuyen al final de la maduración por la conversión de azúcares a alcohol (Sripaurya et al., 2021).

3.2 Análisis de la composición proximal

Los resultados denotados en la Tabla 2 muestran los resultados de la valoración proximal de la cascara de banano verde con y sin tratamiento antioxidante, siendo las cenizas y proteínas el contenido proximal más alto, mientras que el contenido graso fue el más bajo en ambas muestras.

Tabla 2. *Media y desviación estándar de los análisis proximales de las muestras de cáscara seca del banano verde con y sin tratamiento antioxidante.*

Parámetros % base seca (bs)	Muestra con tratamiento antioxidante ± Ds	Muestra sin tratamiento antioxidante ± Ds
Humedad	5,32 ± 0,52	5,22 ± 0,10
Cenizas	6,66 ± 0,57	7,00 ± 0,00
Grasa	0,28 ± 0,02	0,33 ± 0,04
Proteína	3,93	3,62

Humedad. Este análisis indica la cantidad de agua presente en un alimento, lo cual es de gran importancia para la calidad del mismo (Tirado et al., 2015). Según Khawas & Deka (2016), conforme el banano alcanza mayores estados de madurez, el contenido de humedad de la cáscara disminuye, mientras que el de la pulpa aumenta, debido a la transferencia osmótica de agua de la cáscara a la pulpa, es decir que la cáscara pierde agua liberándola tanto a la atmósfera, como a la pulpa, reduciendo la vida de anaquel del banano. Según Rakhmawati et al., (2022), el mayor contenido de humedad de la pulpa se encuentra 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.

Como se observa en la Tabla 2, el tratamiento antioxidante no provocó cambios considerables en los valores de humedad de las muestras. El valor permitido de contenido de humedad es de 14,5 % como lo declara la normativa de la harina de trigo (NTE INEN 616).

Cenizas. El contenido de cenizas representa el contenido total de minerales en los alimentos (Bashir et al., 2021). Con respecto al porcentaje de cenizas se demostró que los valores de la muestra con y sin tratamiento antioxidante no cambian de manera marcada, es decir el que los ácidos presentes en el tratamiento antioxidante no influyen en este parámetro nutricional, probablemente pertenecientes a minerales como el potasio, hierro y zinc (Agama et al., 2015).

Según Obiageli et al. (2016), el contenido de cenizas en la cáscara de banano aumentó gradualmente con la maduración del fruto hasta la etapa 4 y disminuyó ligeramente al alcanzar la etapa 5. Sin embargo, los cambios en el contenido de cenizas no fueron tan marcados entre las etapas de maduración. Una razón para la variación en las cenizas podría deberse a la diferente capacidad de absorción de minerales en las etapas de desarrollo.

Grasa. Con respecto al porcentaje de grasa demostró que no existe una variación considerable entre la muestra con y sin tratamiento antioxidante. En la cáscara de banano existe gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (particularmente el ácido linoleico y α -linolénico) que constituyen más del 40 % de los ácidos grasos totales presentes en la cáscara del banano (Zou et al., 2022).

El contenido de grasa en la cáscara registra una tendencia creciente desde la etapa 1 hasta la etapa 5, después de ello varía significativamente, esto puede deberse a la síntesis continua de ácidos grasos durante el metabolismo (Khawas & Deka, 2016).

Proteína. Los valores obtenidos de proteína en las muestras con y sin tratamiento antioxidante no revelaron diferencias marcadas. Las proteínas ayudan en la regulación del metabolismo en las células vivas. Según Khawas & Deka. (2016), indicaron que en el contenido de proteína aumenta con la madurez del fruto, debido a que durante la maduración de la fruta ocurre la descomposición y síntesis de proteínas y los aminoácidos son reciclados, sin embargo, al alcanzar el índice de maduración 7 se observó una ligera disminución en el contenido de proteína, lo cual puede atribuirse a la utilización de proteínas en la gluconeogénesis. La cáscara de banano verde presenta (sobre una base seca) 6–10 % de proteína (Agama et al., 2015).

Además de los macro y micronutrientes evaluados, los análisis bibliográficos de la cáscara de banano verde presentan evidencia de un importante contenido de hidratos de carbono como el almidón que se encuentra en un 11–39 % y fibra dietética total en un 33–43 %, de la cual alrededor del 5 al 13 % es fibra dietética soluble (pectina y las gomas) y del 7 al 36 % es insoluble (celulosa, las hemicelulosas y la lignina) sobre una base seca. Ambas fracciones desde el punto de vista nutricional y de salud juegan un papel importante en las propiedades fisiológicas del cuerpo humano después del consumo (Agama et al., 2015, Khawas & Deka 2016).

El almidón reduce con la madurez, lo cual puede correlacionarse con la acumulación de carbohidratos durante la maduración, lo que provoca la hidrólisis del almidón y el almacenamiento de azúcar durante la maduración. Así mismo el contenido de fibra disminuye a medida que avanza la madurez, lo cual podría deberse a que, durante la maduración la fibra empieza a transformarse en azúcares simples, es decir, las largas cadenas de glucosa que forman la fibra se convierten en cadenas más cortas de sucrosa, glucosa y fructosa (Khawas & Deka, 2016).

3.3 Análisis de la composición de minerales

El contenido de minerales de la cáscara de banano con y sin tratamiento antioxidante se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Análisis de la composición de minerales de las muestras con y sin tratamiento antioxidante de cáscara seca del banano verde.*

Parámetros	Muestra con tratamiento antioxidante	Muestra sin tratamiento antioxidante
Magnesio (% bs)	0,11	0,12
Hierro (% bs)	21,2	24,8
Calcio (% bs)	0,27	0,29
Zinc (% bs)	11,2	11,6
Sodio (% bs)	71,2	76,1
Potasio (% bs)	3,34	3,45

En esta tabla se puede observar que el sodio es el mineral más abundante tanto en las cáscaras de banano con y sin tratamiento antioxidante, seguido del hierro, zinc y potasio. Mientras que el magnesio fue el mineral menos presente en ambas muestras.

En la tabla en mención, se observa en general, una ligera reducción del contenido mineral de la cáscara de banano al aplicar el tratamiento antioxidante, el cual consiste en sumergir las muestras en una disolución de agua y ácidos por un tiempo de 10 minutos. Esta mínima disminución se puede explicar, ya que, según el tiempo de inmersión y la superficie de contacto con el agua, se pueden producir pérdidas de nutrientes, como los minerales, tanto por disolución en el agua o mediante lixiviación. A diferencia de las vitaminas que pueden ser fácilmente destruidas, los minerales son elementos inorgánicos que siempre mantienen su estructura química, no son alterados por el calor, es decir no se destruyen con los tratamientos térmicos, ni por el oxígeno o los ácidos, solo se pueden perder por lixiviación. El potasio es un mineral extremadamente móvil y se pierde fácilmente por lixiviación debido a su alta solubilidad en agua, por otro lado, minerales como el calcio y el magnesio generalmente están unidos al tejido vegetal y no se pierden fácilmente por lixiviación (Ahmed & Ali, 2013).

Dado los resultados anteriores y en base a lo contrastado en la literatura especializada, se puede decir que la cascara de banano verde es un alimento rico en fibra y minerales tales como sodio, zinc, magnesio, calcio, hierro y potasio, constituyéndose como un potencial ingrediente en la formulación de alimentos saludables.

3.4 Análisis del contenido fenólicos y capacidad antioxidante en cáscaras de banano en tres niveles de maduración

En la Tabla 4, se observan los valores de medias y desviación estándar del contenido de fenoles y capacidad antioxidante medida por dos métodos (DPPH y FRAP) en muestras de extracto hidroalcohólico de cáscara de banano con y sin la aplicación de un tratamiento antioxidante y en tres índices de maduración.

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

Tratamiento Antioxidante	Índice de Maduración	Contenido de fenoles totales	Capacidad Antioxidante (DPPH)	Capacidad Antioxidante (FRAP)
Con Antioxidante	2	3.7736 ± 0.2359	4.0461 ± 0.0528	4.9596 ± 0.1034
	6	28.5877 ± 0.7571	70.3542 ± 0.3688	46.1543 ± 0.3847
	7	47.7180 ± 2.6426	116.7619 ± 0.1774	90.5383 ± 3.7607
Sin Antioxidante	2	4.2198 ± 0.3962	4.9193 ± 0.1655	5.4404 ± 0.2594
	6	7.8186 ± 0.2870	8.5045 ± 0.0615	9.0543 ± 0.4097
	7	15.1149 ± 0.5742	8.9091 ± 0.1318	21.6206 ± 1.7788

En esta tabla se identifica un posible efecto del uso de antioxidantes y del incremento de la maduración sobre la cantidad de metabolitos presentes en el extracto hidroalcohólico. Con la finalidad de determinar estadísticamente dichos efectos se aplicó un análisis de varianza a los datos.

3.5 Evaluación de la influencia del tratamiento antioxidante y los diferentes índices de maduración sobre el contenido fenólico y capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de banano.

Los resultados obtenidos de la valoración de la calidad química de las cascaras se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial, analizándose el efecto del tratamiento antioxidante y los diferentes índices de maduración sobre la concentración de fenoles totales (mg EAG/g de ES) presentes en la cáscara de banano, identificándose que tanto para fenoles totales como para la capacidad antioxidante evaluada a través de DPPH y FRAP existe diferencia estadísticamente significativa, siendo los valores-P menores que 0,05 con un nivel de confianza del 95,0%. Es decir, el tratamiento antioxidante e índice de maduración tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fenoles totales, DPPH y FRAP. A medida que se incrementa la maduración se incrementa el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidantes de la cascara de banano.

Una vez realizado el tratamiento estadístico de los datos se pudo identificar que el usar tratamiento antioxidante incrementa el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante medida por ambos métodos lo cual podría deberse al uso de ácido ascórbico como parte del tratamiento antioxidante.

En la tabla 5 se presentan los valores de las medias de fenoles totales y la capacidad antioxidante (DPPH y FRAP) para cada nivel de los factores obtenidos (índice de maduración y tratamiento antioxidante, así como resultados del análisis de múltiples rangos aplicado a dichos valores.

Tabla 5. Análisis de varianza de la concentración de fenoles totales, DPPH y FRAP en muestras de extracto de cáscara de banano.

Parámetros	Muestra índice de maduración 2	Muestra índice de maduración 6	Muestra índice de maduración 7
	Media LS	Media LS	Media LS
(Fenoles totales)	3,9967 ^a	18,2032 ^{ab}	31,4164 ^{bc}
(DPPH)	4,4827 ^a	39,4292 ^b	62,8353 ^b
(FRAP)	5,20 ^a	27,6043 ^b	56,0794 ^c

NOTA. Letras iguales significan que no hay diferencias estadísticamente significativas, $p > 0,05$ Letras diferentes significan que hay diferencias estadísticamente significativas $p < 0,05$

Mediante el ANOVA realizado se demostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del contenido de fenoles totales, DPPH y FRAP entre un nivel de índice de maduración y otro, sin embargo, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Pruebas de Múltiples Rangos, la cual, como se observa en la Tabla 5, con respecto al contenido de fenoles, indica que no existe diferencias estadísticamente significativas entre dos pares de grupos, es decir entre las medias del contenido de fenoles medidos a las muestras con índices de maduración (6 y 2) y (6 y 7). Mientras que si existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias del contenido de fenoles medidos a las muestras con índices de maduración (2 y 7). Todo con un nivel del 95,0% de confianza.

Con respecto a la capacidad antioxidante por el ensayo DPPH, se observa en la Tabla 5, que no existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la capacidad antioxidante medidos a las muestras con índices de maduración (6 y 7) y si existe diferencias estadísticamente significativas entre 2 pares de grupos, es decir entre las medias de la capacidad antioxidante medidas a las muestras con índices de maduración (2 y 6) y (2 y 7), con un nivel del 95,0% de confianza. Los resultados de la prueba de múltiples rangos para FRAP, indican que existe diferencia estadísticamente significativa entre a las muestras con índice de maduración (2, 6 y 7), es decir los tres grupos muestran diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %.

El contenido de fenoles totales de cada una de las muestras va aumentando conforme incrementa el índice de maduración. Esto se puede explicar, ya que los ácidos fenólicos se derivan de la ruta

metabólica de los fenilpropanoides, la cual inicia con la conversión de la fenilalanina generada por la ruta del ácido shikímico, en ácido cinámico. Esta reacción es catalizada por la enzima fenilalanina amonía liasa (FAL), la cual permanece activa durante las últimas etapas del crecimiento del fruto e inicios de la maduración propiciando la biosíntesis de compuestos fenólicos (Martín, 2018).

Según Domínguez et al. (2018), informaron que el incremento en el contenido de compuestos fenólicos pueden deberse a que durante la maduración, el almidón se hidroliza en azúcares solubles de manera muy rápida, viéndose favorecida la síntesis del ácido chiquímico y mevalónico, precursores de los fenilpropanoides o bien, puede deberse a que durante la maduración se lleva a cabo la hidrólisis de taninos, aumentando con ello las concentraciones de fenoles libres y por tanto la capacidad antioxidante del fruto.

Resultados similares presenta Fernando et al. (2014), en su investigación se observó que en el banano 'Khai', el contenido fenólico aumentó con el avance de la maduración, particularmente a los 6 días de mantenimiento, antes de disminuir ligeramente a los 8 días cuando la fruta estaba completamente madura y disminuir notablemente a los 10 días cuando la fruta se sobremaduró. Además, el contenido fenólico, particularmente los taninos que son responsables del sabor astringente de las frutas verdes disminuyeron con la maduración debido principalmente a la polimerización que las hace insolubles e indetectables al gusto.

Por otro lado, los resultados obtenidos en las muestras con aplicación de tratamiento antioxidante demuestran un aumento en el contenido de fenoles totales en los tres diferentes índices de maduración, como se observa en la Tabla 4. Estos resultados coinciden con los de Dussán-Sarria et al. (2017), en donde el contenido de fenoles totales aumento a mayor concentración de ácido ascórbico presente en la muestra.

Los agentes antioxidantes como lo son en este caso el ácido ascórbico, cítrico y tartárico se emplean principalmente para inhibir el pardeamiento enzimático, que es provocado por la acción de diferentes enzimas, principalmente la polifenoloxidasas. Éstas enzimas actúan sobre sustratos como los monofenoles, transformándolos en difenoles y posteriormente en quinonas, las cuales se polimerizan y finalmente dan el color característico de pardeamiento. Sin embargo, los acidulantes presentes en el tratamiento antioxidante reducen las quinonas propias del pardeamiento enzimático a los fenoles originales antes que la reacción de lugar a la formación de pigmentos, por ello el

contenido de compuestos fenólicos de la cáscara de banano aumento con el tratamiento antioxidante (Barreiro & Vera, 2017).

Con respecto a la capacidad antioxidante se observa que los valores obtenidos tanto por el método FRAP y DPPH aumentan a medida que el fruto va madurando, debido al aumento del contenido de compuestos fenólicos que actúan como captadores de radicales libres y síntesis de otros compuestos bioactivos como los carotenos (α y β caroteno) y antocianinas que también aumentan su contenido gradualmente con la maduración y que además de su papel como pigmentos, son fuentes de vitamina A y compuestos antioxidantes. Según Youryon & Supapvanich. (2017), concuerdan que la capacidad antioxidante puede deberse a los flavonoides y al contenido fenólico total, además indicó que la capacidad antioxidante de la cáscara de la fruta de banano puede atribuirse principalmente al contenido de galocatequina, que es cinco veces más alta en la cáscara que en la pulpa.

La investigación realizada por Campuzano et al. (2018), también concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que la actividad antioxidante la cáscara de banano aumentó con la etapa de maduración, al igual que contenido fenólico total. La actividad antioxidante expresada como actividad eliminadora de radicales por lo general difiere con la etapa de maduración debido a las diferencias en las concentraciones de compuestos antioxidantes (Fernando et al., 2014).

Por otro lado, la aplicación del tratamiento antioxidante en las cáscara de banano verde provocó un aumento de la capacidad antioxidante tanto en FRAP como DPPH, esto se debe a que los ácidos presentes en la tratamiento antioxidante, se consideran como potentes antioxidantes, ya que son buenos secuestrantes de oxígeno, el oxígeno como molécula oxidante es el causante de generar radicales libres que intervienen en la producción de energía y según su grado oxidante puede dañar a las moléculas biológicas que son, proteínas, lípidos, y ácidos nucleicos. Por lo tanto, impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, interactuando con los radicales libres y neutralizándolos, permitiendo así la remoción del oxígeno molecular en reacciones de enzimas oxidativas (Lugo-Morales, 2021).

En el estudio de Gulcin Yildiz. (2018), observaron en muestras de banano tratadas con ácido ascórbico como agente antioxidante, una disminución en la actividad enzimática de la PPO,

retardando así el pardeamiento enzimático del fruto, lo que mejoró su calidad durante dos semanas de almacenamiento en comparación con la muestra control.

En el caso de la cascara de banano maduro, se identificó una cantidad considerable de compuestos antioxidantes que lo posicionan como un ingrediente activo en la formulación de alimentos funcionales.

3.6 Análisis de metales pesados (arsénico, plomo y mercurio)

El contenido de metales pesados de la cáscara de banano con índice de maduración 7 que corresponde a la muestra con más alto contenido de fenoles y capacidad antioxidante se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. *Análisis de metales pesados de la cáscara de banano con índice de maduración 7*

Parámetros	Unidad	Resultados
Arsénico	mg/kg	< 0,02
Plomo	mg/kg	< 0,02
Mercurio	mg/kg	< 0,005

Como se observa en la Tabla 6, las concentraciones de arsénico, plomo y mercurio se encuentran dentro de los límites máximos permitidos según la norma NTE INEN 2392 para hierbas aromáticas, siendo el método de base con el que se establecen los límites en dicha normativa AOAC 986.15 para arsénico y AOAC 999.10 para plomo.

CONCLUSIONES

Finalizada la presente investigación se concluye que la cáscara de banano verde contiene agua, proteínas, grasas, carbohidratos como almidones y fibras, principalmente de tipo dietario, así como minerales importantes dentro de la dieta humana, en este sentido los minerales que se encuentran en mayor proporción son sodio, hierro, zinc y potasio. Por lo tanto, este subproducto pudiese constituirse como un ingrediente potencial en el diseño de alimentos ricos en fibra y minerales tales como algunos suplementos alimenticios.

Esta investigación evidenció que el incremento de la maduración y el uso de antioxidantes genera un incremento en el contenido fenólico y por ende también en la actividad antioxidante de las cascara de banano por lo cual es posible inferir que este subproducto pudiese ser utilizado, principalmente en estado maduro, como ingrediente funcional en una matriz alimentaria en la que quisiera incluir un compuesto antioxidante de manera segura, dado que la valoración de metales pesados en cascara seca arrojó valores que se encuentran por debajo del límite permitido.

De manera general, se concluye que la cascara de banano tiene usos potenciales dentro de la industria alimentaria, principalmente en el diseño de alimentos con efectos benéficos sobre la salud de los consumidores.

RECOMENDACIONES

Evaluar la calidad microbiológica de las muestras para determinar la inocuidad de estas materias primas.

Evaluar el contenido de fibra total y dietaria en esta especie en específico en diferentes niveles de maduración con la finalidad de corroborar que sucede con este compuesto a través de la maduración en esta especie.

Evaluar el efecto funcional desde el punto de vista tecnológico y nutricional del uso de la cascara de banano en el diseño de alimentos antioxidante además de alimentos o suplementos ricos en fibra y minerales.

BIBLIOGRAFIAS

Amarasinghe, N. K., Wickramasinghe, I., Wijesekara, I., Thilakarathna, G., & Deyalage, S. T. (2021). Functional, Physicochemical, and Antioxidant Properties of Flour and Cookies from Two Different Banana Varieties (*Musa acuminata* cv. Pisang awak and *Musa acuminata* cv. Red dacca). *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6681687>

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>

Ali, A., Bashmil, Y. M., Cottrell, J. J., Suleria, H. A. R., & Dunshea, F. R. (2021). Lc-ms/ms-qtof screening and identification of phenolic compounds from australian grown herbs and their antioxidant potential. *Antioxidants*, 10(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/antiox10111770>

Ahmed, F. A., & Ali, F. M. (2013). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la coliflor blanca fresca y procesada. <https://doi.org/10.1155/2013/367819>

Acevedo Sánchez, P. d. (2016). Implementación de un sistema piloto de producción de banano variedad gros Michel (*Musa acuminata* AAA.) como alternativa técnica en la vereda Monte Verde, en Andes, Antioquia. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/41

Bahadur, L., Anmol, Singh, D., & Singh, S. K. (2020). A review on successful protected cultivation of banana (*musa*). *Plant Archives*, 20, 1570–1573.

Balla Kohn, J. (febrero de 2016). Is Dietary fiber considered an essential nutrient? *Journal of The Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(2), 360.

Barreiro, M., & Vera, L. (2017). Efecto del ácido ascórbico en el pardeamiento enzimático de la pulpa de pitahaya (*hylocereus undatus*) almacenada a diferentes temperaturas de congelación., *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta*.

Banwo, K., Olojede, A. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., Singh, S., Patel, A. R., Gupta, A. K., Aguilar, C. N., & Utama, G. L. (2021). Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. *Food Bioscience*, 43(July), 101320. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101320>

Bashir, F., Hassan, A., Mushtaq, A., Rizwan, S., Jabeen, U., Raza, A., Anjum, S., & Masood, A. (2021). Phytochemistry and antimicrobial activities of different varieties of banana (*Musa acuminata*) peels available in Quetta city. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(2), 1531–1538. <https://doi.org/10.15244/pjoes/122450>

Campuzano, A., Rosell, C. M., & Cornejo, F. (2018). Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chemistry*, 256, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.113>

Capa Benítez, L. B., Alaña Castillo, T. P., & Benítez Narváez, R. M. (2016). Importancia de la producción de banano orgánico. Caso: provincia El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 8 (3). pp. 64 -71. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

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

Chandra, R. D., Prihastyanti, M. N. U., & Lukitasari, D. M. (2021). Effects of pH, High Pressure Processing, and Ultraviolet Light on Carotenoids, Chlorophylls, and Anthocyanins of Fresh Fruit and Vegetable Juices. *EFood*, 2(3), 113–124. <https://doi.org/10.2991/efood.k.210630.001>

Dussán-Sarria, S., Gaona-Acevedo, A. F., & Hleap-Zapata, J. I. (2017). Efecto del Uso de Antioxidantes en Plátano Verde Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) Cortado en Rodajas. *Informacion Tecnologica*, 28(4), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400002>

Dong, Ch., et al. 2016. Metabolism of falvonoids of flavonoids in novel banana germplasm during fruit development. *Front Plant Sci*. 7: 1291 doi: 10.3389/fpls.2016.01291

Domínguez, C. R., Avila, J. A. D., Pareek, S., Ochoa, M. A. V., Zavala, J. F. A., Yahia, E., & González-Aguilar, G. A. (2018). Content of bioactive compounds and their contribution to antioxidant capacity during ripening of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Esmeralda. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 61–68. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.009>

Divyabharathi, R., Angeeswaran, R., Jagadeeshkumar, K., & Pugalendhi, S. (2017). Characterization and Batch Anaerobic Digestion Study of Banana Wastes. *International Journal*

of *Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2307–2315.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.331>

Espinosa, A., & Santacruz, S. (2019). Phenolic compounds from the peel of *Musa cavendish*, *Musa acuminata* and *Musa cavandanaish*. *Revista Politécnica*, 38(2), 5.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/713

Eshak, N. S. (2016). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2016.07.002>

Fernández-Aquino, C., et al. (2016). Carbohydrates, phenolic compounds and antioxidant activity in pulp and peel of 15 banana cultivars. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal*, 38(4):
<http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016090>

Fuentes Berrio, L., Acevedo Correa, D., Chantré, C. A., & Gelvez Ordoñez, V. M. (2015). Alimentos Funcionales: Impacto Y retos Para El Desarrollo Y Bienestar De La Sociedad Colombiana. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140.
[https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)140-149)

Fernando, H. R. P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Boonyarittongchai, 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.

Gulcin Yildiz. (2018). The Effect of Different Chemical Agents on the Prevention of Enzymatic Browning in Banana. *Journal of Food Science and Engineering*, 8(2), 91–96.
<https://doi.org/10.17265/2159-5828/2018.02.005>

Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Hernandez, J. B. P., Sandoval, J., & Rocha, H. S. (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>

Gomes, S., Vieira, B., Barbosa, C., & Pinheiro, R. (2022). Evaluation of mature banana peel flour on physical, chemical, and texture properties of a gluten-free Rissol. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(8), 1–6. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14441>

Gómez Montaña, Francisco Javier, Bolado García, Victoria Eugenia, & Blasco López, Gabriela. (2019). Compositional and antioxidant analysis of peels from different banana varieties (*Musa spp.*) for their possible use in developing enriched flours. *Acta universitaria*, 29, e2260. Epub 11 de septiembre de 2020. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2260>

Guerrero Guerrero, E. M., & Guevara Arrieta, J. Y. (2019). Revisión del establecimiento de protocolo de propagación con diferentes hormonas en plantas de la especie (*Musa acuminata*) y (*Musa balbisiana*). *Vía Innova*, 6(6). <https://doi.org/10.23850/2422068x.2284>

Herrera, M., Reveles-Torres, L., & Velásquez-Valle, R. (2016). Cambios en el metabolismo de los fenilpropanoides en plantas de chile tipo marisol infectadas con fitoplasma. In Folleto Técnico Núm 79. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP (Issue 79).

Jabbar, S., Abid, M., Wu, T., Hashim, M. M., Saeduddin, M., Hu, B., Lei, S., & Zeng, X. (2015). Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds and Antioxidants from Carrot Pomace: A Response Surface Approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1878–1888. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12425>

Kurhade, A., Patil, S., Sonawane, S. K., Waghmare, J. S., & Arya, S. S. (2016). Effect of banana peel powder on bioactive constituents and microstructural quality of chapatti: unleavened Indian flat bread. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(1), 32–41. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9273-0>

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>

Li, L. F., & Ge, X. J. (2017). Origin and domestication of cultivated banana. *Ecological Genetics and Genomics*, 2, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2016.10.001>

Lopes, S., Borges, C. V., Sousa Cardoso, S. M., Almeida Pereira da Rocha, M. F., & Maraschin, M. (2020). Banana (*Musa spp.*) as a Source of Bioactive Compounds for Health Promotion. *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and Nutrition*, May 2022, 227–244. <https://doi.org/10.1002/9781119528265.ch12>

Llorente. (2022). Determinación del contenido nutricional de harina de banano aplicando el proceso de deshidratación Determine the nutritional content of banana flour applying the dehydration process. *Nº. Ciningec Ii*, 7, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7702411>

Lugo-Morales, Y. (2021). *Content of anthocyanins, vitamin C and antioxidant activity in seven varieties of Morus alba L. fruits*. 44, 2021. <https://orcid.org/0000-0002->

Martín Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

Meneses, S. M. O., Molina, D. A. R., & Vargas, J. H. L. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcionalidad tecnológica de la fibra de banano íntegro verde (Cavendish valery) (Musa AAA cv. Musaceae). *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 23–30. <https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a2>

Montero, M. L., Rojas-Garbanzo, C., Usaga, J., & Pérez, A. M. (2022). Nutritional composition, content of bioactive compounds, and hydrophilic antioxidant capacity of selected Costa Rican fruits. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2). <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46175>

Moreno, J. L., Tran, T., Cantero-Tubilla, B., López-López, K., Becerra Lopez Lavalle, L. A., & Dufour, D. (2021). Physicochemical and physiological changes during the ripening of Banana (Musaceae) fruit grown in Colombia. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1171–1183. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14851>

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(May), 105054. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105054>

Ortiz, L., Dorta, E., Gloria Lobo, M., González-Mendoza, L. A., Díaz, C., & González, M. (2017). Use of Banana (Musa acuminata Colla AAA) Peel Extract as an Antioxidant Source in Orange Juices. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 60–66. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0591-0>

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

Passo Tsamo, C. V., Herent, M. F., Tomekpe, K., Happi Emaga, T., Quetin-Leclercq, J., Rogez, H., Larondelle, Y., & Andre, C. (2015). Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). *Food Chemistry*, 167, 197–204.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.095>

Pereira, A., & Maraschin, M. (2015). Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*, 160, 149–163. doi:10.1016/j.jep.2014.11.008

Prakash, P. (2015). Evaluation of Antioxidant Activity of Banana Peels (*Musa acuminata*) Extracts Using Different Extraction Methods. *Chemical Science Transactions*, August, 10–13.
<https://doi.org/10.7598/cst2015.921>

Pyrzynska, K., & Pękal, A. (2013). Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. *Analytical Methods*, 5(17), 4288–4295. <https://doi.org/10.1039/c3ay40367j>

Rebello, L. P. G., Ramos, A. M., Pertuzatti, P. B., Barcia, M. T., Castillo-Muñoz, N., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2014). Flour of banana (*Musa* AAA) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. *Food Research International*, 55, 397–403.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.039>

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2018). Agro-Industrial Residues Generated in Ecuador for the Elaboration of Bioplastics. *Ingeniería Industrial*, 3, 227–246.
<https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>

Rijzaani, H., Bayer, P. E., Rouard, M., Doležel, J., Batley, J., & Edwards, D. (2022). The pangenome of banana highlights differences between genera and genomes. *Plant Genome*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20100>

Rover, M. R., & Brown, R. C. (2013). Quantification of total phenols in bio-oil using the Folin-Ciocalteu method. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 366–371.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.06.011>

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>

Silva, A. dos A., Barbosa Junior, J. L., & Jacintho Barbosa, M. I. M. (2015). Green banana flour as a functional ingredient in food products. *Ciencia Rural*, 45(12), 2252–2258. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140332>

Sidhu, J. S., & Zafar, T. A. (2018). Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits. *Food Quality and Safety*, 2(4), 183–188. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy019>

Suárez, L. G. (2019). Land, labor and toxics: On the production of banana lands in the southern coast of Ecuador. *Estudios Atacamenos*, 63, 341–364. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2019-0034>

Shah, P., & Modi, H. A. (2015). Comparative Study of DPPH, ABTS and FRAP Assays for Determination of Antioxidant Activity. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 3(6), 636–641. <https://www.researchgate.net/publication/307464470>

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>

Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Informacion Tecnológica*, 26(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002>

Torres, K., Sancho, A. M., & Gozzi, M. S. (2018). Caracterización físico-química de harina obtenida a partir de cáscaras de banana (*Musa paradisiaca*) y su aceptabilidad en budines sin gluten. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(2), 22–29.

Torres, C. D., Leyanes García, Á., Bermúdez Caraballosa, I., Sarría, Z., Hurtado Ribalta, O., Delgado, E., Pérez, A., & Fernández Martínez, O. (2020). Respuesta morfo-agronómica y

organoléptica de cinco cultivares de banano (*Musa spp.*) en condiciones de campo. *Revista Biotecnología Vegetal*, 20(1), 43–50. <http://scielo.sld.cu/pdf/bvg/v20n1/2074-8647-bvg-20-01-43.pdf>

Vásquez, R. (2017). El impacto del comercio del Banano en el desarrollo del Ecuador. *AFESE Temas Internacionales*, 53(53), 167–182. <https://afese.com/img/revistas/revista53/comerbanano.pdf>

Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. (2018). Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. *Journal of Functional Foods*, 40(November 2017), 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.006>

Vásquez-Castillo, W., Racines-Oliva, M., Moncayo, P., Viera, W. y, & Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador (Fruit Quality and Post-Harvest Losses of Organic Bananas (*Musa acuminata*) in Ecuador). *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

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). Maximising recovery of phenolic compounds and antioxidant properties from banana peel using microwave assisted extraction and water. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1360–1370. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03610-2>

Xiao, Y.Y., Kuang, J.F., Qi, X.N. et al. (2018). A comprehensive investigation of starch degradation process and identification of a transcriptional activator MabHLH6 during banana fruit ripening. *Plant Biotechnology Journal*, 16, 151–164.

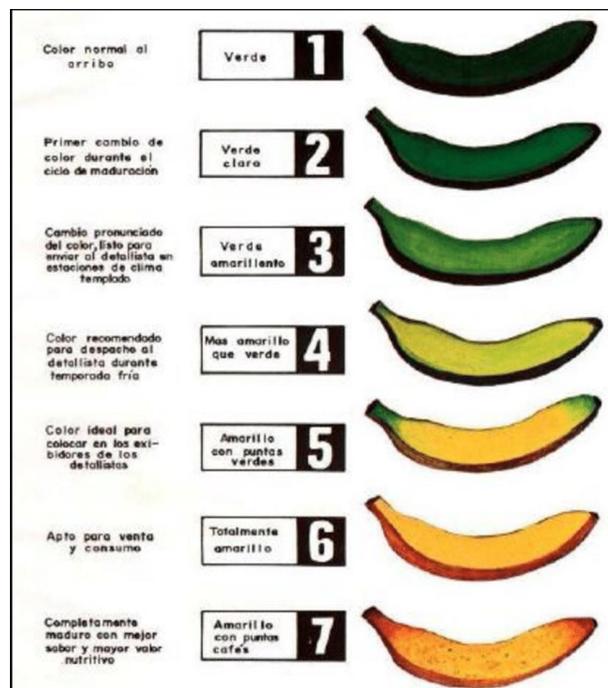
Youryon, P., & Supapvanich, S. (2017). Physicochemical quality and antioxidant changes in ‘Leb Mue Nang’ banana fruit during ripening. *Agriculture and Natural Resources*, 51(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2015.12.004>

Zamora, I., & Barboza, Y. (2020). Consumo de alimentos funcionales por estudiantes universitarios. *An Venez Nutr*, 33(1), 14–23.

Zou, F., Tan, C., Zhang, B., Wu, W., & Shang, N. (2022). The Valorization of Banana By-Products: Nutritional Composition, Bioactivities, Applications, and Future Development. *Foods*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/foods11203170>

ANEXOS

Anexo 1: Escala de Von Loesecke



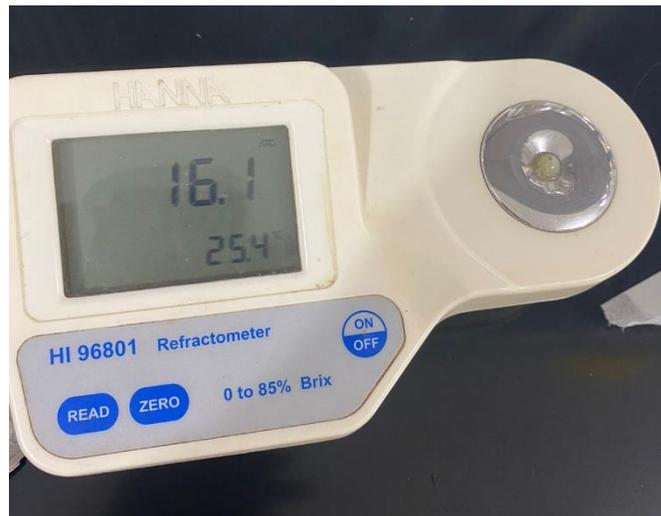
Anexo 2: Lavado y desinfección de los bananos



Anexo 3: Ecurrido de las cáscaras de banano



Anexo 4: Toma de grados brix y pH



Anexo 5: Preparación de las cáscaras para llevar a la estufa



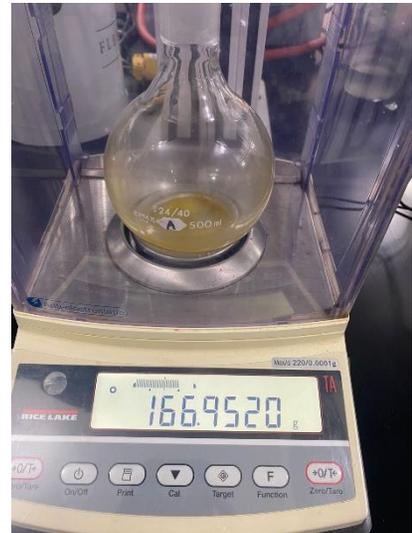
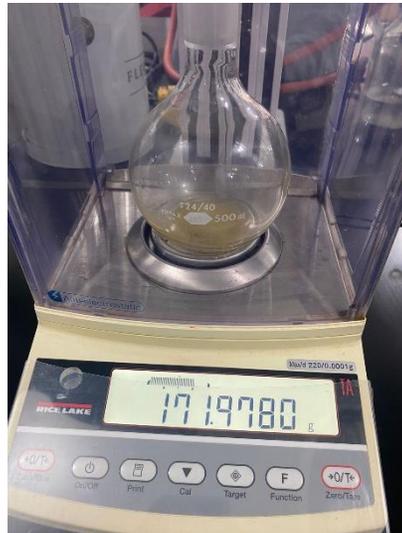
Anexo 6: Cáscaras de banano secas



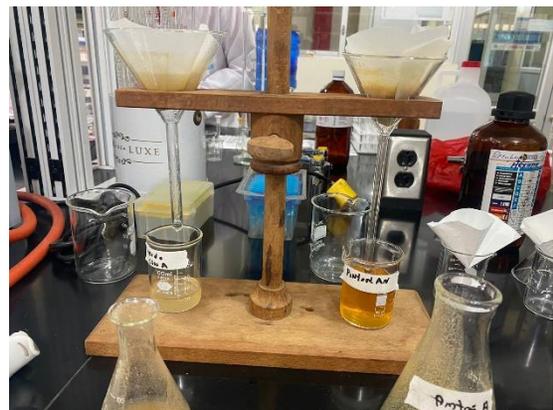
Anexo 7: Determinación de grasa



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



Anexo 9: Preparación de los extractos



Anexo 10: Preparación de las disoluciones para la determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante



Anexo 11: Colocación de la disolución en las cubetas para ser llevados al espectrofotómetro



Anexo 12: 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

27/07/2023

Pág: 1 / 1

Cliete: MOLINA CEVALLOS GENESIS G./ FREIRE HERRERA ANTHONY

Remitente: INGLISBETH MATUTE.

Propiedad: UTMACH

Localización:

Sitio

Parroquia

MACHALA
Cantón

EL ORO
Provincia

Documento No: 00060603

Fecha de Muestreo: 21/07/2023

Fecha de Ingreso: 21/07/2023

Fecha de Salida: 27/07/2023

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
34148	MUESTRA# 1	0.58	0.19	3.45	0.29	0.12	--	--	11.6	3.6	24.8	52.7	76.1	--	28.75	5.95	0.00
34149	MUESTRA# 2	0.63	0.19	3.34	0.27	0.11	--	--	11.2	3.2	21.2	48.3	71.2	--	30.36	5.30	0.00

Anexo 12: Resultados de metales pesados



Orden de trabajo N° 223730
Informe N° 223730
Hoja 1 de 1

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

Nombre: GENESIS GABRIELA MOLINA CEVALLOS
Dirección: Urbanización Santa Inés, Machala
Muestra: Cáscara de banana
Descripción de la muestra: Cáscara deshidratada y molida
Fecha Elaboración: ---
Fecha Vencimiento: ---
Fecha de Toma: ---
Lote: ---
Localización: ---
Envase: Polietileno
Conservación de la muestra: Ambiente

DATOS DEL LABORATORIO

Fecha de recepción: 15 de septiembre del 2023
Toma de muestra por: Cliente
Fecha de realización del ensayo: 15 - 28 de septiembre del 2023
Fecha de emisión del informe: 28 de septiembre del 2023
Condiciones ambientales: 24,4°C 31%HR

ANÁLISIS QUÍMICO:

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Arsénico	mg/kg	Gutzwiller Modificado	<0,02
Plomo	mg/kg	Standard methods 3111B Modificado	<0,02
Mercurio	mg/kg	Standard Methods 3112B Modificado	<0,005

Cecilia Luzuriaga
Dra. Cecilia Luzuriaga
GERENTE GENERAL

El presente informe es válido sólo para la muestra analizada, tal como fue recibida en LABOLAB.
LABOLAB no se responsabiliza por los datos proporcionados por el cliente.
Este informe no debe reproducirse más que en su totalidad previa autorización escrita de LABOLAB.
Las opiniones e interpretaciones no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SNAE.



INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL, PARA NOTIFICACION SANITARIA

Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, balanceadas, químicas, pastillas, tabletas, matas, pastas y otros.
Fco. Andrade Marín E1-23 y Diego de Almagro Telf.: 2552-225 / 2561-310 / 2228-5031-3228-584 Cel.: 939 359 8412 / 939 344 2153 / 938 730 1591
E-mail: secretaria@labolab.com.ec / servicioalcliente@labolab.com.ec / cecilialuzuriaga@labolab.com.ec / informes@labolab.com.ec

www.labolab.com.ec

Quito - Ecuador