



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SNACK CRUJIENTE A BASE DE
ALMIDÓN RESISTENTE DE BANANO DE REHAZO (*Musa cavendishii*).

AUTORA

Karen Stephanie Chávez Chérrez

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SNACK CRUJIENTE A BASE DE
ALMIDÓN RESISTENTE DE BANANO DE REHAZO (*Musa cavendishii*).

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingenieros Agroindustriales y de Alimentos”

Profesor Guía

MSc. Pablo Santiago Moncayo Moncayo

Autor

Karen Stephanie Chávez Chérrez

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Pablo Santiago Moncayo Moncayo

Master en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial

C.I. 1712367505

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

María Elizabeth Mosquera Quelal
Ingeniera Agropecuaria
C.I. 1715044192

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Karen Stephanie Chávez Chérrez

C.I. 1722460472

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por encaminarme hacia la culminación de mis estudios y el cumplimiento de mis metas mediante sus sabios consejos y cariño. A mis hermanos que me apoyaron incondicionalmente y estuvieron siempre presentes.

A mis maestros que no sólo me brindaron sus conocimientos sino también su amistad. A mis amigos y familia cercana por acompañarme durante todo este proceso.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres y hermanos que siempre están presentes en mi vida para ayudarme a cumplir mis metas y a superar cada obstáculo.

A mi abuelita por su apoyo e incondicional amor, siempre la recordaré con mucho cariño y gratitud.

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se obtuvo un prototipo de snack (botana) a base de almidón resistente de banano cavendish de rechazo. El almidón resistente se define como la secuencia de moléculas de glucosa que por su morfología no son absorbidos en el intestino delgado actuando como un prebiótico. Para este desarrollo se evaluó las características físico-químicas del fruto de banano en sus distintos estados de madurez y como pueden ser incluidos en la obtención de masas crujientes. Se determinó que el grado de madurez 5 es apto para la elaboración de purés viscosos para sustituir las grasas y azúcares en las masas. En cuanto a la harina, el mejor estado de madurez fue el estadio 3, en el cuál se obtuvo mayor rendimiento y menor pardeamiento. Para la inactivación de la enzima oxidativa polifenol oxidasa en la harina de estadio 3 se utilizó tratamientos de escaldado con distintas temperaturas y tiempos. La harina de cada tratamiento fue analizada con el colorímetro para detectar cual presentó menor pardeamiento. Para el análisis estadístico se tomó en cuenta la variación de color y se empleó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial. El mejor tratamiento de escaldado fue el de 85 °C por 8 minutos. A continuación, se experimentó con varias formulaciones utilizando distintos porcentajes de harina y puré de banano hasta conseguir masas homogéneas y estables. Se identificó la temperatura y tiempo óptimo de horneado para las 2 mejores formulaciones. Para el análisis estadístico se evaluó la variación de textura y se empleó un diseño DBCA con arreglo factorial. Los tratamientos 6 y 2 fueron los mejores con una temperatura y tiempo óptimo de 180 °C por 20 minutos. Finalmente, se realizó una evaluación afectiva y descriptiva de los productos con 50 panelistas semientrenados. Se determinó que el tratamiento 2 obtuvo mejores resultados en cuanto a sus características organolépticas y aceptación.

ABSTRACT

This work consists in developing a prototype of snack with resistant starch of banana cavendish of rejection. Resistant starch is defined as the sequence of glucose molecules that by their morphology are not absorbed in the small intestine acting as a prebiotic. For this development, the physical-chemical characteristics of the fruit in its different stages of maturity were evaluated and how they can be included in the obtaining of crunchy masses. It was determined that the degree of ripeness 5 is suitable for the production of viscous purees to substitute the fats and sugars in the masses. As for the flour, the best stage of maturity was stage 3, in which it obtained higher yield and less browning. For the inactivation of the oxidative enzyme polyphenol oxidase in the flour of stage 3, scald treatments with different temperatures and times were used. The flour of each treatment was analyzed with the colorimeter to detect which presented less browning. For the statistical analysis the color variation was evaluated with a randomized block design with factorial arrangement. The best scald treatment was 85 ° C for 8 minutes. Then it was experimented with various formulations using different percentages of flour and banana puree to achieve homogeneous and stable masses. The optimum baking temperature and time were identified for the 2 best formulations. For the statistical analysis the texture variations were evaluated with a randomized block design with factorial arrangement. Treatments 6 and 2 were the best with an optimum temperature and time of 180 ° C for 20 minutes. Finally, an affective and descriptive evaluation of the products was carried out with 50 semi-trained panelists. It was determined that treatment 2 obtained better results in terms of its organoleptic characteristics and acceptance.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Características botánicas banano.....	5
2.2 Sector bananero en el Ecuador	5
2.2.1 Zonas bananeras del país.....	6
2.3 Clasificación genómica del banano	7
2.4 Banano cavendish	8
2.4.1 Variedades de banano cavendish.....	9
2.4.2 Parámetros de exportación para banano cavendish	9
2.4.3 Clasificación por categoría.....	10
2.4.4 Especificaciones para banano cavendish según su destino.....	11
2.5 Manejo post cosecha.....	12
2.5.1 Proceso de maduración del banano.....	13
2.6 Cambios físico-químicos en el proceso	14
2.6.1 Color.....	14
2.6.2 Aroma.....	15
2.6.3 Textura	15

2.6.4 Sabor	16
2.7 Formas de consumo del banano	17
2.8 Harina de banano	18
2.9 Pardeamiento enzimático	19
2.10 Almidón resistente	20
2.10.1 Tipos de almidón	21
2.11 Proceso de horneado	22
2.11.1 Condiciones de horneado	23
3. METODOLOGÍA	25
3.1 Determinación de las características físico-químicas.....	27
2.1.1 Humedad libre	27
3.1.2 Firmeza.....	27
3.1.3 Viscosidad	27
3.1.4 Solidos totales	28
3.1.5 pH.....	28
3.2 Fase 2.- Obtención de harina	30
3.2.1 Variación de color según el grado de madurez	30
3.2.2 Descripción del proceso de obtención de harina.....	31
3.2.3 Medición de tonalidad	32
3.2.4 Tratamiento térmico para inhibir el pardeamiento	32
3.3 Fase 3.- Caracterización del proceso horneado	33
3.3.1 Procedimiento.....	34
3.3.2 Diseño experimental para el proceso de horneado	36

3.3.3 Evaluación de las características afectivas del producto.....	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.1 Determinación de las características físico- químicas	38
4.1.1 Humedad libre	38
4.1.2 Firmeza.....	39
4.1.3 Viscosidad	40
4.1.4 Sólidos totales	41
4.1.5 pH.....	42
4.1.6 Rendimiento de la pulpa	43
4.1.7 Caracterización organoléptica.....	43
Tabla 18: Caracterización organoléptica de banano cavendish.	44
4.2 Fase 2: Obtención de harina.....	45
4.2.1 Diseño experimental para la inhibición de pardeamiento de la harina.....	46
4.3 Fase 3.- Caracterización del proceso horneado	47
4.3.1 Componentes	47
4.3.2 Diseño experimental para el proceso de horneado	48
4.4 Pruebas de aceptación y análisis sensorial	51
4.5 Descripción del producto con mayor aceptación.....	53
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 Conclusiones	55
5.2 Recomendaciones	56
REFERENCIAS.....	57

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El 98% del trigo consumido en Ecuador es importado, lo que significa más de 200 millones de dólares de inversión para el país, este rubro podría reducirse mediante la producción de harina con cultivos nativos. En la actualidad, el Ministerio de Industrias ha propuesto varios proyectos para la producción de harina de banano como sustituto de la harina de trigo. El principal objetivo es garantizar la soberanía alimentaria aprovechando al máximo los recursos naturales disponibles en el país (Asociación Ecuatoriana de Molineros, 2015).

Para disminuir las importaciones de trigo se puede potenciar industrialmente el excedente de banano de rechazo. Los bananos son una fuente rica de carbohidratos, vitaminas y minerales. El proceso de obtención de harina consiste en la deshidratación y molienda de láminas de banano preferentemente en estado verde. En comparación con la harina de trigo, la harina de banano es libre de gluten y rica en almidones resistentes que ayudan a dar una mayor sensación de saciedad (Vieira, Cruz, Amante, Meller, 2013).

En la actualidad, los países importadores de banano exigen una mayor calidad y homogeneidad de la fruta estableciendo parámetros cada vez más estrictos. Anualmente, se rechazan grandes cantidades de banano, que a pesar de ser inocuos, son denegados por sus cualidades físicas como calibre o apariencia. La producción de rechazo en la costa es de aproximadamente 7,05 ton/ha/año, es decir, el 14% de la producción anual lo que origina grandes pérdidas económicas para el agricultor. Una opción para solucionar este problema es transformar la materia prima y darle valor agregado para incentivar de esta manera el consumo nacional (AEBE, 2015).

1.2 Justificación

El objetivo de este proyecto de titulación surge de la necesidad de utilizar el alto volumen de banano cavendish de rechazo existente en el país. Los bananos que no cumplen con los parámetros de exportación son destinados al consumo interno, muchos productores afirman que esto no es rentable ya que tienen que reducir el precio de la fruta e invertir en el transporte para su distribución. Algunas empresas están optando por desechar esta fruta o destinarla para la alimentación animal (AEBE, 2015).

El consumo de botanas, pasabocas o snacks ha tenido un incremento significativo en la última década, esto ha motivado cada vez más a la industria a crear diversidad de productos. En un estudio sobre la alimentación de los ecuatorianos se determinó que el 64% de la población adolescente comprendida entre los 10 y 19 años consumen regularmente snacks dulces y salados entre comidas. El 37% de la población joven tiene hábitos alimenticios saludables, en los cuales se incluyen alimentos ingeridos entre comidas. Esta tendencia será aprovechada para la elaboración de un snack dulce de banano de larga vida útil, bajo en grasas y que aporte beneficios para la nutrición (ENSANUT-ECU, 2013, p.69).

La creación de un snack a base de harina de banano busca preservar las cualidades nutricionales de la fruta, evitar el pardeamiento y cambios de sabor, alargar la vida útil y facilidad de transportación. Lo que se busca es desarrollar un alimento nutritivo de sabor agradable y de textura crujiente que aporte pocas calorías en comparación a los snacks fritos y de harina de trigo disponibles en el mercado. La botana que se desarrollará será libre de gluten, grasas añadidas, lácteos y ovoproductos para que pueda ser consumido por personas celiacas, intolerantes a la lactosa, veganos y personas en general que tengan una dieta baja en calorías.

1.3 Alcance

Para el desarrollo del proyecto de titulación se utilizó banano cavendish (*Musa cavendishii*) de rechazo proveniente de la empresa Banagold. La primera fase inició con la evaluación de las características físico-químicas del banano en sus distintos estados de maduración.

Se valoró las propiedades determinantes para la elaboración de harina y puré de banano como la humedad, viscosidad, contenido de sólidos y pH, además se establecieron las interacciones de estas en la elaboración de masas crujientes.

En la segunda fase se obtuvo harina de banano mediante el secado de la pulpa; se empleó banano de grado 4 en la escala de madurez de Von Loesecke. Se aplicó un DBCA con arreglo factorial para determinar el mejor tratamiento de escaldado tomando en cuenta variables de tiempo y temperatura. Las tonalidades de la harina se evalúan con un colorímetro.

En la tercera fase se determinó las variables adecuadas para el proceso de horneado tomando en cuenta la formulación, temperatura y tiempo. Se fijaron las características organolépticas y nutricionales del producto como: libre de gluten, grasas, lácteos y ovoproductos. Se usó un DBCA con arreglo factorial para analizar el mejor tratamiento, evaluando la textura con un penetrómetro. Posteriormente se realizó una evaluación de preferencia pareada, para esto se tomó en cuenta los 2 mejores tratamientos de textura de la fase anterior. Estas pruebas se realizaron con un panel semi-entrenado conformado por 50 personas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial y de Alimentos.

Finalmente se hizo un estudio económico del producto con mayor aceptación para determinar su costo unitario.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Desarrollar un snack a base de almidón resistente de banano (*Musa cavendishii*).

1.4.2 Objetivos específicos

1. Evaluar las características físico-químicas del fruto de banano en sus distintos estados de maduración.
2. Desarrollar formulaciones con harina de banano para la producción de snacks crujientes.
3. Identificar la temperatura y tiempo óptimo de horneado para la producción de snacks de banano.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Características botánicas banano

El banano es una planta herbácea del género *Musa*, se caracteriza por tener un pseudotallo terminado en penacho de hojas largas con nervio central desarrollado y produce frutos cilíndricos a partir de sus flores femeninas (Robinson, Galán, 2012, p.28-35).

Esta planta crece en climas tropicales con suelos húmedos y de buen drenaje. La temperatura óptima de desarrollo es de 27°C y pluviosidad de 122 mm mensuales. La altitud recomendada es de 0 a 300 msnm (Robinson, Galán, 2012, p.28-35).

El banano se propaga de manera asexual mediante el uso de material vegetativo de plantas sanas y vigorosas. Usualmente se utilizan cormos y brotes que deben ser desinfectados y regados frecuentemente hasta que logren desarrollarse para su trasplante a campo abierto (Agrocalidad, 2014).

2.2 Sector bananero en el Ecuador

El cultivo de banano constituye la actividad agrícola de mayor importancia económica en el país debido a su constante producción. Esta fruta está disponible durante todo el año con picos altos en los meses de enero a marzo. Las variedades más producidas son: cavendish, orito y morado (Campuzano, Cornejo, Ruiz, 2007).

Esta fruta se produce principalmente en la región de la Costa. Las provincias con más hectáreas cultivadas son El Oro, Guayas y Los Ríos. El banano representa el 10% de las exportaciones totales del país; el año anterior tuvo una participación de 24,63% de las exportaciones no petroleras. Se estiman 214.000 ha cosechadas, en su mayoría son plantaciones tecnificadas y certificadas internacionalmente (PRO ECUADOR, 2015, p.9).

En 2015, el sector bananero cerró el semestre con una producción récord de 317.437.040 cajas de 18,14 kg para exportación. El principal destino fue la Unión Europea, los mayores importadores fueron Rusia y Alemania, como se indica en la figura 1. Pese a las altas cifras de exportación, en este año los destinos clave presentaron una caída de ventas, como es el caso de Rusia que de un 23,23% de participación en el 2014 bajó al 21% (AEBE, 2015).

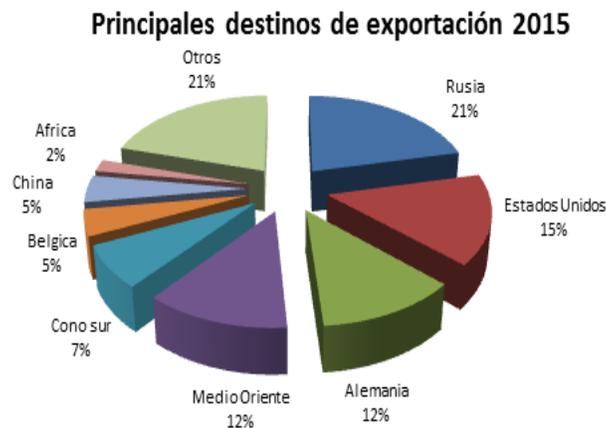


Figura 1: Diagrama de pastel sobre los principales destinos de exportación de banano en el 2015. Adaptado de PRO ECUADOR, 2015, p.9.

2.2.1 Zonas bananeras del país

En Ecuador las plantaciones de banano se encuentran distribuidas en siete zonas productivas, principalmente en la región litoral. A continuación se resume los sectores con hectáreas más cultivadas.

- **Norte:** Esmeraldas, Quinindé y Santo Domingo.
- **Centro:** Quevedo, La Maná, Velasco Ibarra.
- **Subcentral:** Pueblo viejo, Urdaneta, Ventanas y Balzar.
- **Oriental:** Naranjito, Milagro, Yaguachi, El Triunfo, La Troncal y Santa Ana.
- **Sur:** Naranjal, Balao, Tenguel, Santa Rosa, Arenillas, Guabo, Machala y Pasaje. (AEBE, 2015).

2.3 Clasificación genómica del banano

Del género *Musa* surgen varios híbridos provenientes de los cruces genéticos entre las especies *Musa acuminata* (A) y *Musa balbisiana* (B). En la tabla 1, se indica los cruces comerciales de banano producidos en el país y sus principales características.

Tabla 1: Principales cruces genómicas del banano.

Subgrupo	Características	Imagen
AA	Diploide de <i>Musa acuminata</i> , produce frutas verdes que al madurar se vuelven amarillas, se pueden consumir frescas. Se caracteriza por su textura cremosa, sabor dulce y tamaño pequeño (12 cm). Ejemplo: Orito (baby banana).	
AB	Diploide de <i>Musa x paradisiaca</i> , produce frutas similares al subgrupo AA. Se caracteriza por su sabor dulce ligeramente ácido y tamaño mediano. Ejemplo: Ney Poovan.	
AAA	Triploide de <i>Musa acuminata</i> , produce frutas cremosas y de aroma agradable. Es menos dulce que los cruces anteriores. Es el subgrupo de mayor consumo y de tamaño grande. Ejemplo: cavendish.	
AAB	Triploide de <i>Musa x paradisiaca</i> , produce frutos verdes duros, ricos en almidón. Al madurar se vuelve amarillo pardo, en ambos estados necesitan ser cocidos antes de su ingesta. Ejemplo: Maqueño.	
ABB	Cultivar triploide de <i>Musa x paradisiaca</i> , produce frutos de tamaño mediano robustos, pueden ser consumidos crudos o cocidos. Ejemplo: Monthan.	

Fuente: Adaptado de Robinson, Galán, 2012, p.35-42.

2.4 Banano cavendish

El subgrupo cavendish es el cultivar triploide de *Musa acuminata* más producido a nivel global. Durante el año 2015 (Enero-Abril) se exportó 966.683 miles USD FOB de bananas frescas tipo cavendish (PRO ECUADOR, 2015, p. 10). Esta variedad es muy conocida por sus cualidades organolépticas y aporte nutricional. Los frutos de los bananos cavendish se consumen crudos y por su alto contenido de azúcares simples son muy usados en compotas y postres. Los bananos, cuando se cosechan, detienen su maduración por lo que se requiere una aspersion de etileno. La fruta se comercializa en grado de madurez de 3 a 6 en la escala Von Loesecke (Morton, 1987, p. 29–46).

La pulpa del banano es rica en vitaminas como el ácido ascórbico, retinol, α -tocoferol y fitomenadiona. Asimismo, contiene aminoácidos esenciales y minerales principalmente potasio. Varios estudios demuestran que esta fruta tiene efectos diuréticos y suavemente laxantes por lo que es una excelente opción para personas con necesidad energética alta, debido a su elevado contenido de carbohidratos de fácil digestión. Una fruta de 100 g aporta alrededor de 65 calorías (Morton, 1987, p. 29–46).

Tabla 2: Composición nutricional de banano cavendish maduro.

Porción: 100 g de pulpa	Calorías: 65,5
Humedad (%)	78,1
Proteína	1,00 g
Grasa	0,02 g
Carbohidratos	25,8 g
Fibra	1,07g
Cenizas	1,48 g
Calcio	13,8 mg
Fósforo	16,3 mg
Triptófano	17,0 mg
Metionina	7,00 mg
Lisina	58,0 mg

Fuente: Adaptado de Morton, 1987, p. 29- 46

2.4.1 Variedades de banano cavendish

En el país se producen distintas variedades de banano cavendish. Entre las principales se encuentran las que se enlistan en la tabla 3.

Tabla 3: Variedades de la especie cavendish existentes en el país.

Variedades	Otro nombre	Características
Cavendish enano	Dwarf cavendish	Es una variedad resistente a vientos que produce bananos curvos de tamaño medio de sabor agradable y cáscara delgada .Es susceptible a daños físicos.
Grande naine	Cavendish gigante	Es la variedad más cultivada, su pseudotallo tiene manchas marrones. Los bananos son de mayor tamaño que la variedad anterior y su cáscara es más gruesa. El sabor de la pulpa es menos intenso.
Lacatan	Filipina	Esta variedad se caracteriza por su rápida fructificación, menor a 10 meses. El fruto es curvo y alargado. Cuando alcanzan su mayor grado de madurez tienen color anaranjado. Su pulpa es la más dulce.
Valery	Robusta	Es la más resistente a enfermedades, produce más manos por planta. Su fruto es menos firme y de sabor agradable. Sufre muchos daños en el transporte.

Fuente: Adaptado de Rowe, 2012

2.4.2 Parámetros de exportación para banano cavendish y requisitos mínimos de calidad

Los parámetros de aceptación del producto fresco para exportación son cada vez más exigentes, se declara como producto no conforme o de rechazo a aquellos que cumplan con las especificaciones de calidad, tamaño y madurez. Los parámetros de calidad son establecidos por el lugar de destino (AEBE, 2015).

La normativa CODEX STAN 205-1997 define varias disposiciones relativas a la calidad del banano en estado verde para asegurar su inocuidad. Los requisitos mínimos que ha de cumplir el fruto de banano para ser destinado para exportación son los siguientes (CODEX, 2012):

- Las frutas no deben presentar ningún material extraño como suciedad o plagas.
- Los dedos deben estar enteros y no presentar malformaciones.
- No deben presentar manchas, ni daños físicos en la cáscara, los defectos superficiales no deben superar los 2 cm² de la superficie total.
- Debe estar exento de daños de plagas, enfermedades o quemaduras solares.
- Las frutas deben estar firmes y con la humedad adecuada.
- Las frutas deben ser envasadas sin pistilos y con su pedúnculo intacto.
- Siempre se comercializan las frutas en estado verde y en manos.
- Libre de metales pesados y residuos de plaguicidas.

2.4.3 Clasificación por categoría

Para determinar la calidad del banano se usa categorías que indican el grado de cumplimiento de los requisitos del punto 2.4.2, las cajas de banano que cumplan con la mayoría de parámetros de calidad serán más costosas y de superior calidad en comparación a las otras categorías. Es importante establecer que cada categoría tiene un porcentaje de tolerancias de incumplimiento de parámetros de tamaño y calibre como se indica a continuación (Codex, 2012).

- **Categoría extra:** Son bananos de calidad superior. Los dedos no presentan defectos. El 5% de la caja no cumple con las especificaciones de calibre y tamaño.

- **Categoría I:** Los bananos son de buena calidad. Se permite defectos leves de forma y color, los daños de la cáscara no superan los 2 cm² de la superficie total.
- **Categoría II:** Comprende los bananos que no pueden clasificarse en las categorías anteriores, tiene defectos en la cáscara. Los daños físicos no supera los 4 cm² de la superficie total. El 10% no cumple con las especificaciones de calibre y tamaño.

2.4.4 Especificaciones para banano cavendish según su destino

Los bananos cavendish de exportación de clase extra deben cumplir con los siguientes parámetros de calidad relativos a tamaño, peso, calibre y grado de madurez.

Tabla 4: Parámetros de calidad para banano de exportación clase extra.

Destino	Requisitos
Europa y Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud mayor a 18cm. • Calibre entre 39 y 46 mm. • Debe tener mínimo 5 dedos por mano y máximo 12. • Edad de la fruta de 10 a 13 semanas. • Cajas tipo 22XU de 18,14 o 19,45 kg
Asia	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud mínima de 18 cm. • Calibre entre 39 y 47 mm. • Debe tener mínimo 15 dedos por mano. • Edad de la fruta de 10 a 13 semanas. • Cajas tipo 208 de 13,6 kg.

Fuente: Adaptado de Ginafruit ,2015

2.5 Manejo post cosecha

Una vez que los bananos llegan a la madurez fisiológica en la semana 12, se procede a la cosecha y almacenamiento. Este proceso debe hacerse con sumo cuidado para evitar daños físicos en la fruta. A continuación, se describe los procesos que se debe seguir para un correcto almacenamiento de la fruta (Marcelino, 2011).

1. **Recepción de racimos:** Una vez que los racimos de banano alcanzan la madurez organoléptica son desprendidos del pseudotallo mediante un corte en “v” del raquis. Estos son transportados por rieles o tinas y son lavados con agua potable a presión.
2. **Desmane:** Consiste en separar las manos del raquis, para esto se debe separar una fracción de la zona callosa (corona) que mantenga los dedos unidos.
3. **Lavado y selección:** Se pesa y mide el calibre del dedo medio de las manos en buen estado, para determinar si cumple con los requisitos de calidad. Las manos aprobadas se someten a un baño de desinfección con hipoclorito.
4. **Deslechado:** Se deja reposar las manos en tinas llenas de agua potable que eliminan los residuos de cloro y látex.
5. **Tratamiento químico:** Para evitar la pudrición y ataques de moho, las frutas se someten a una aspersión de solución cicatrizante y anti fúngica.

6. **Empacado:** Para una correcta distribución de las manos en las cajas se debe seguir un patrón que se conoce como líneas de empaque, que toma en cuenta el tamaño de la fruta y curvatura. En la primera fila, la corona debe apuntar a la persona que empaca y en la siguiente fila al lado opuesto, con la secuencia que se indica a continuación:

- Fila 1: Manos planas y pequeñas.
- Fila 2: Manos medianas semicurvas o curvas.
- Fila 3: Manos largas y planas.
- Fila 4: Manos largas curvas.

7. **Almacenamiento:** La fruta empacada y etiquetada es transportada hacia las bodegas de los puertos de carga. La carga debe ser almacenada en bodegas con atmósfera controladas. Para acelerar y generar la maduración de los frutos se debe realizar aspersiones de etileno.

2.5.1 Proceso de maduración del banano

El banano es una fruta climatérica que pasa por varios cambios químicos y fisiológicos que depende del tiempo de cosecha para alcanzar la madurez organoléptica. Las frutas deben ser cosechadas cuando llegan a la madurez fisiológica, que es el punto máximo de crecimiento de la fruta. (Flores, 2016)

El desarrollo fisiológico de la fruta depende de la producción de fitohormonas como el etileno y ácido abscisico que inducen el desarrollo y crecimiento de los tejidos. La madurez organoléptica está marcada por la degradación de almidón hacia azúcares. (Flores, 2016)

2.6 Cambios físico-químicos en el proceso

2.6.1 Color

Es una característica determinante de la madurez. La cáscara de banano en estado verde es rica en clorofila y carotenoides. Durante la maduración se libera ácidos orgánicos por las vacuolas originando la degradación de la clorofila. Los carotenoides a ser más estables y resistentes permanecen intactos en el tejido, produciendo el color amarillento pardo de la fruta madura (Robinson, Galán, 2011).

Para determinar la madurez se realiza una inspección visual con ayuda de la escala de maduración de Von Loesecke que divide los 7 grados de maduración de forma ascendente (Soto, 2008). Las tonalidades de la escala se indican en la Figura 2.

- Escala 1: Banano totalmente verde.
- Escala 2: La cáscara cambia de color a un tono verde más claro.
- Escala 3: La cáscara se torna verde amarillenta.
- Escala 4: La cáscara es más amarilla que verde, la fruta esta lista para ser distribuida.
- Escala 5: Centro amarillo con puntas verdes. Ya tiene todas las cualidades organolépticas deseadas.
- Escala 6: Totalmente amarilla, aumento de sabor dulce.
- Escala 7: Amarillo con manchas pardas. Buen sabor inicia la senescencia.

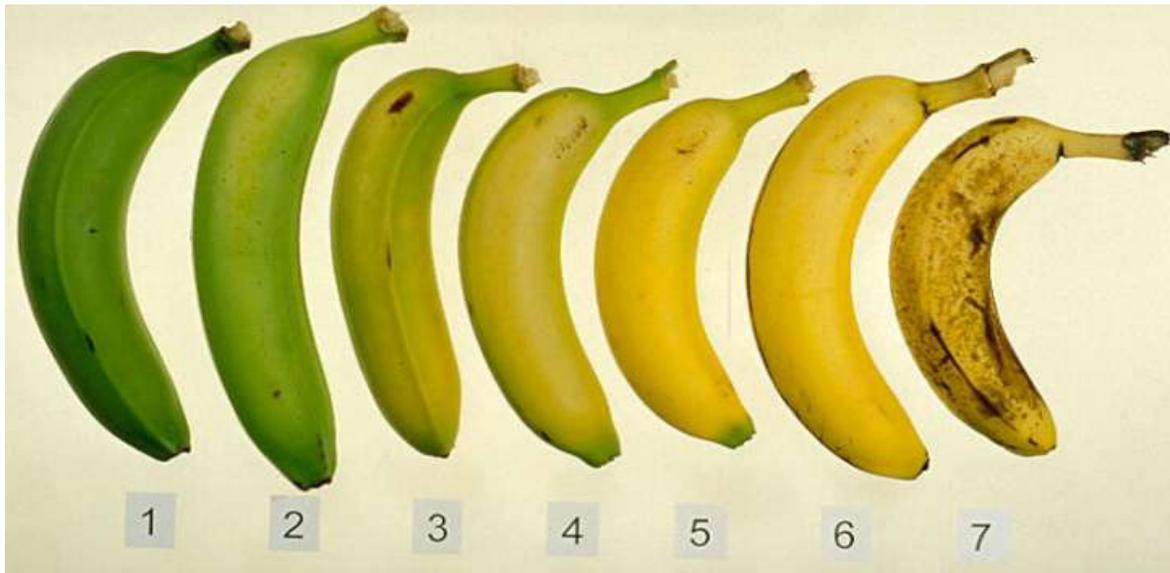


Figura 2: Escala de maduración de Von Loesecke para banano cavendish. Tomado de Soto, 2008

2.6.2 Aroma

Durante la síntesis de azúcares el banano genera compuestos volátiles como el acetato de amilo y el ácido acético. Ambos proporcionan el aroma característico de la fruta (Palmer, 1971).

2.6.3 Textura

La firmeza es una característica que mide la fuerza que opone un material a ser dañado físicamente. Se puede medir basándose en diferentes propiedades mecánicas como la punción, penetración y compresión. La firmeza ayuda a determinar el grado de madurez del banano (Kramer, 1964).

El banano sufre transformaciones de textura durante el proceso de maduración, en estado verde es firme, mientras que en su estado óptimo de madurez es blando. La pérdida de firmeza reduce la calidad de la fruta porque la hace más propensa a daños mecánicos y pardeamiento. La firmeza del banano depende de la degradación de sus estructuras vegetales (Smith, 1899).

La pérdida de firmeza se debe fundamentalmente a tres cambios químicos, el primero es la desintegración de carbohidratos para producir azúcares, que aumenta la cremosidad de la pulpa; el segundo es la despolimerización de las sustancias protopécticas que produce el debilitamiento de las paredes celulares y el tercero es el aumento de agua por osmosis, que favorece el paso desde la cáscara hacia la pulpa haciéndola más suave. El aumento gradual del contenido de agua y azúcar favorecen el aumento de cremosidad de la pulpa (Palmer, 1971).

La consistencia mide la fuerza de atracción de las moléculas de un cuerpo y permite determinar la resistencia que los objetos presentan al ejercer una fuerza. La viscosidad se relaciona directamente con la propiedad previa ya que a mayor consistencia, mayor dificultad de fluir (Muller, 1993).

2.6.4 Sabor

Los compuestos solubles presentes en las frutas son los azúcares, vitaminas hidrosolubles y aminoácidos. Los principales sólidos son los azúcares, que se miden con ayuda de un refractómetro que determina la concentración de azúcares en soluciones acuosas en grados Brix (Robinson, Galán, 2011).

El contenido de almidón en el banano de estado verde es del 80% de su peso total y disminuye al 1% cuando llega a su madurez final. El decrecimiento de este se debe al aumento de la actividad respiratoria que incita la hidrólisis del almidón

transformándolo en azúcares. Las responsables de este proceso son las amilasas. La actividad de estas enzimas es directamente proporcional a la síntesis de etileno. La proporción de azúcares es de 65% sacarosa, 20% glucosa y 15% fructosa (Robinson, Galán, 2011).

Los valores de pH brindan la medida de la acidez o alcalinidad de un producto. El potencial de hidrogeno influye en el sabor del banano dependiendo del balance entre el contenido de azúcar y de ácidos orgánicos. El pH de la pulpa disminuye conforme aumenta el grado de madurez (Fernández, Carvalo, Calvidal, 1979).

2.7 Formas de consumo del banano

En el país se consume principalmente el banano en estado fresco. La creación de subproductos es limitada y se enfoca en la elaboración de compotas para bebés. El banano de rechazo y el excedente es vendido para la alimentación animal. El mayor problema de la fruta es el pardeamiento enzimático y corta vida útil. Durante los últimos cinco años se ha buscado optimizar la producción de este cultivo creando snacks saludables como las rodajas de banano deshidratadas que lamentablemente no han tenido gran acogida en el mercado, por su aspecto oxidado, textura cauchosa y sabor muy dulce (PROEcuador, 2015).

Tabla 5: Formas de consumo mundial de banano cavendish.

Productos	Consumo %
Fresca	60
Compotas, puré	20
Deshidratada, chips	5
Jugos, bebidas, congelados	3,6
Harina	1,1
Bebida alcoholicas, vinagre	1,3
Mermeladas, jaleas	1,5
Alimentación de animales	7,5

Fuente: Adaptado de Pillay y Tenkouano, 2011, p. 270

2.8 Harina de banano

La producción de harinas es un proceso que consiste en la deshidratación de la pulpa de banano para obtener un polvo fino con mejores características de almacenamiento y mayor vida útil. Al disminuir la actividad de agua se logra conservar la fruta a temperatura ambiente en un envase hermético. La producción de este tipo de harina requiere equipos sencillos y puede optimizar el excedente de producción o la fruta de rechazo (AEBE, 2015).

Varios estudios demuestran que la harina de banano es apta para panificación sobre todo cuando se mezcla con un pequeño porcentaje de harina de trigo que gracias al gluten da mayor plasticidad a la masa. Por su sabor agradable y rico contenido nutricional se utiliza para la producción de galletas, panes y pastas (Moire, 2006).

El banano en estado verde contiene una elevada cantidad de almidón resistente, varias investigaciones reportan que este tipo de almidón es de digestión lenta y actúa como fibra, ya que no es absorbido en el intestino delgado. La harina de banano puede ser utilizada como un espesante natural y para la preparación de masas libres de gluten (Pillay y Tenkouano, 2011, p. 271).

En la industria, se ocupa dióxido de azufre o metabisulfito para evitar el pardeamiento de la fruta y tener una harina más clara. La utilización de estos aditivos altera la concepción de un producto natural por lo cual, se está realizando pruebas con ácido cítrico y ascórbico que son menos nocivos y naturales. Para la inactivación de enzimas oxidativas se puede utilizar tratamientos térmicos. El proceso de deshidratación de banano dura alrededor de 8 horas en túneles de secado a 75°C. Para obtener harina sin pardeamiento y de sabor agradable es necesario usar un grado de madurez que tenga un buen equilibrio entre almidón y azúcar. (Moire, 2006).

Los azúcares son sintetizados rápidamente en el organismo dando al consumidor más energía. Los productos hechos a base de harina de banano tienen un índice glucémico bajo, también pueden ser consumidos por personas con dietas bajas en calorías (Pillay y Tenkouano, 2011, p. 272).

Tabla 6: Composición nutricional de harina de banano.

Porción: 100 g	Contenido
Humedad (%)	5,7 g
Proteína	2,3 g
Lípidos	0,5 g
Carbohidratos	87,7 g
Fibra cruda	1,1 g
Cenizas	2,6 g

Fuente: Adaptado de Soto, 2010, p. 95

2.9 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático se origina cuando el alimento está expuesto al oxígeno y se catalizan los compuestos fenólicos. Los daños físicos, la humedad y la fermentación favorecen al pardeamiento de frutas y vegetales (Smith, 1899).

Las enzimas que catalizan el pardeamiento pertenecen a las óxido-reductasas, en el banano, la principal enzima responsable del pardeamiento es la polifenol oxidasa. Esta enzima cataliza el paso inicial de la oxidación de monofenoles a ortoquinonas produciendo melaninas, que son pigmentos insolubles y oscuros. Las etapas del proceso de pardeamiento enzimático son la hidroxilación enzimática, oxidación enzimática y polimerización no enzimática (Smith, 1899).

Para reducir y evitar el pardeamiento se utilizan varios métodos para inactivar las enzimas como la acidificación de los sustratos y los procesos térmicos. Dentro de

los tratamientos térmicos tenemos el escaldado, pasteurización y esterilización. Estos tratamientos no se usan comúnmente en frutas porque alteran sus cualidades organolépticas por la pérdida de compuestos volátiles, vitaminas y azúcares. Otra manera de controlar el pardeamiento es la adición de compuestos reductores y envasado al vacío. (Smith, 1899)

2.10 Almidón resistente

El almidón es un glúcido conformado por dos polisacáridos el primero es la amilosa que tiene estructura lineal con enlaces alfa 1-4, constituye el 15-20 % del almidón. El segundo es la amilopectina que tiene estructura ramificada con enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6, es el principal componente del almidón. (Soriano, 2006, p.141).

Hace varios años se pensaba que todo el almidón era digerido completamente, sin embargo, se ha descubierto que existe un tipo de almidón resistente que no es absorbido por el intestino delgado (Soriano, 2006, p.142). El almidón resistente no es degradado por enzimas amilolíticas y llega íntegro al duodeno donde es fermentado. La resistencia a la hidrólisis se debe a factores como la morfología y tipo de cristalinidad del gránulo, el contenido de amilosa y el tiempo de tránsito intestinal (FAO, 2000, p.83).

El almidón resistente es considerado un ingrediente funcional que aumenta la calidad de los alimentos, varios estudios científicos indican que es beneficioso para la reducción de colesterol y glucosa en sangre (Birt, et al., 2013).

2.10.1 Tipos de almidón

Los carbohidratos se pueden clasificar según su digestibilidad en disponibles y no disponibles, los primeros se refieren a la mayoría de azúcares y almidones que son digeridos rápidamente para proporcionar energía; los segundos son los carbohidratos no glucémicos como la fibra y el almidón resistente que no son digeridos en el intestino delgado (Soriano, 2006, p.142).

El almidón digestible tiene tres tipos de estructuras cristalinas con diferentes proporciones de amilopectina y se encuentran en cereales, tubérculos y leguminosas. En cuanto al almidón resistente se clasifica en 4 tipos como se indica a continuación (FAO, 2000, P.84):

- R1 o físicamente inaccesible: Es el almidón que se encuentra protegido por estructuras vegetales que no son accesibles para las enzimas digestivas. Ejemplo de ello, es el almidón contenido en semillas, legumbres y granos.
- R2 o resistente en su forma granular natural: Se refiere a los gránulos compactos de almidón cristalino, que por su estructura es resistente al ataque de ácidos y enzimas.
- R3 o almidón retrogradado: Es el almidón gelatinizado que expuesto al calor y agua cambia su estructura molecular, al enfriar, se produce una recristalización que lo hará resistente a la digestión.

2.11 Proceso de horneado

El horneado es un proceso térmico que ayuda a la conversión de una masa a un alimento digerible. Durante este proceso aumenta la temperatura interna del producto originando tres cambios físicos principales (Zareifard, Boissonneault, Marcotte, 2009).

La primera es la evaporación del agua que inicia alrededor de los 71°C, en esta fase las masa con agentes gasificantes como levaduras o bicarbonato, empiezan a generar burbujas de aire debido a la liberación de CO₂ (Kocer y col., 2007). La cantidad y tamaño de estas cavidades de gas determinan la miga y textura del producto final. En esta etapa las masas aumentan su volumen llegando a su punto pico a los 95°C. (Zareifard, Boissonneault, Marcotte, 2009).

La segunda es la gelatinización del almidón y coagulación de las proteínas. A los 55°C se detiene la fermentación y generación de gas, los almidones atrapan el agua disponible y crean un gel que forma una masa plástica con sabor agradable propio de los productos panificables (Kocer y col., 2007).

El último parámetro importante es el cambio de color producido por las reacciones de pardeamiento. En las masas se genera la reacción de Maillard que se caracteriza por la caramelización de los azúcares y desnaturalización de aminoácidos. El color de la corteza inicia a los 90°C, ésta reacción no enzimática, no sólo produce cambios de color, sino de aroma y sabor. A los 130°C, las dextrinas y maltosas empiezan a caramelizarse y la corteza se vuelve dura y crocante (Zareifard, Boissonneault, Marcotte ,2009).

2.11.1 Condiciones de horneado

No todas las masas pueden hornearse a la misma temperatura, cada tipo de masa requiere una temperatura ideal que normalmente esta especificada por su composición, tamaño y textura deseada como se indica en la tabla 7. La propagación de calor en las piezas de masa se da por distintos medios, la zona que se encuentra en contacto directo con la bandeja, recibe el calor por conducción mientras que las zonas superiores en contacto con el aire del horno, lo hacen por convección (Kocer y col., 2007).

Tabla 7: Perfil de temperatura para horneado de productos panificables

Temperatura	Características del producto
Altas (230-250°C)	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para masas con alto contenido de agua. • Masas fermentadas. • Piezas pequeñas. • Generar cortezas finas con miga humedad.
Bajas (180-220°C)	<ul style="list-style-type: none"> • Masas poco hidratadas • Harinas de elevada actividad enzimática. • Corteza gruesa y miga compacta.

Fuente: Adaptado de Zareifard, Boissonneault, Marcotte ,2009

El principal componente de la formulación de la masas es la harina de trigo, en la actualidad se considera harina a cualquier producto procedente de la molturación de un cereal, fruta o vegetal. La interacción de la harina con los agentes gasificantes y lipídicos determinan el sabor y textura del producto final. En la tabla 8 se indican los principales componentes de los productos panificables (Zareifard, Boissonneault, Marcotte, 2009).

Tabla 8: Componentes principales de los productos panificables.

Ingrediente	Efecto
Levadura	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda a la formación y desarrollo de cadenas de gluten. • Genera migas elásticas y esponjadas. • Da un ligero sabor a fermentado en el producto final.
Bicarbonato	<ul style="list-style-type: none"> • Libera poco gas en frío y se incrementa durante la cocción. • No aporta sabor, se descompone con el calor. • Ayuda a regular el pH.
Lípidos	<ul style="list-style-type: none"> • Aportan sabor y suavidad a las masas. • Ayudan a fusionar los ingredientes. • Crean burbujas que encapsulan el agua y aire.
Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Es el componente mayoritario de las harinas. • Ayuda a encapsular el agua y a dar elasticidad a la mezcla.
Azúcares	<ul style="list-style-type: none"> • Acentúa las características organolépticas dándole color a la superficie. • Retiene la humedad retrasando el endurecimiento. • Mejora el sabor.

Fuente: Adaptado de Zareifard, Boissonneault, Marcotte ,2009

3. METODOLOGÍA

Se realizó el desarrollo de un prototipo para obtener un snack crujiente de forma cilíndrica a base de almidón de banano, para esto se ejecutó varias pruebas para determinar los mejores tratamientos para el proceso de horneado, la experimentación constó de 3 fases como se indica en la figura 3.

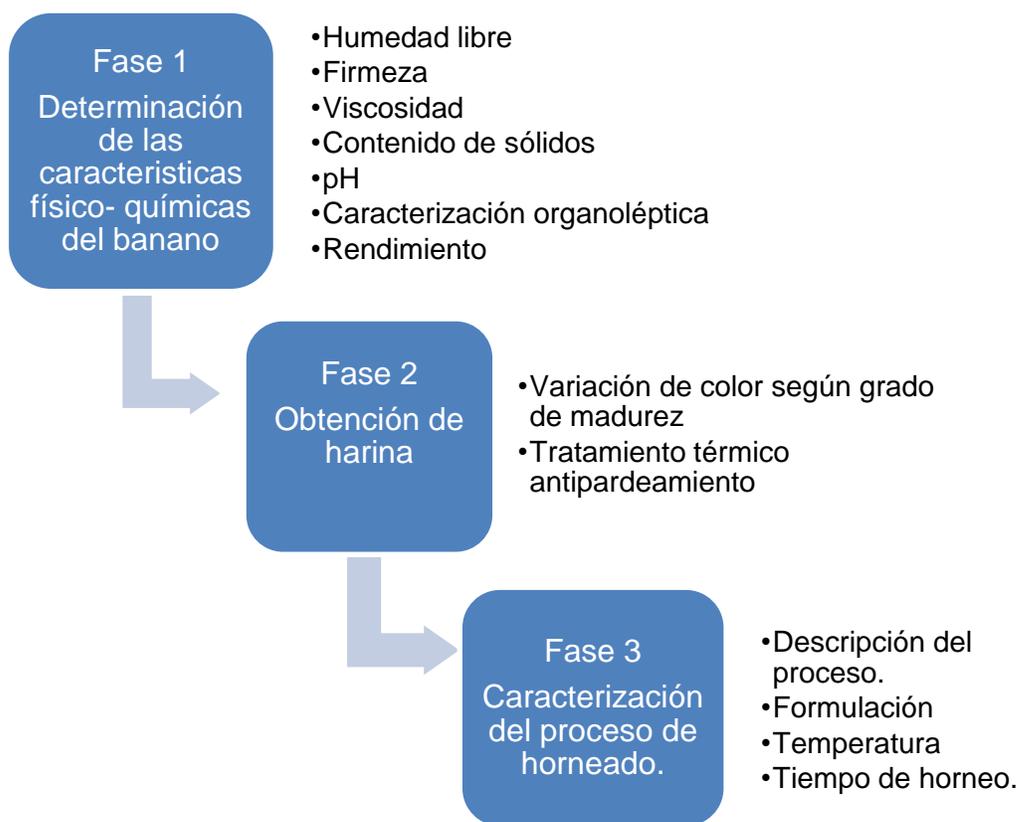


Figura 3: Fases de experimentación para la obtención del prototipo de snack.

Material de laboratorio

El desarrollo del prototipo se realizó a pequeña escala en el laboratorio de la Universidad de las Américas; para la producción del snack se utilizó un horno vertical a gas y un secador de aire caliente. Además, de equipo de laboratorio para la obtención de datos sobre las características físico-químicas como se indica a continuación:

- Deshidratador
- Balanza
- Penetrómetro manual
- Viscosímetro Brookfield
- Refractómetro
- Potenciómetro
- Molino de discos
- Colorímetro
- Estufa
- Tamices
- Horno
- Termómetro digital

Materia Prima

Para la experimentación se ocupó banano cavendish proveniente de la empresa Banagold. Las materias primas ocupadas son bajas en calorías y aprobadas por la FDA como aditivos alimentarios seguros.

- Banano cavendish (7 grados de madurez)
- Ácido cítrico
- Ácido ascórbico
- Maltodextrina
- Goma guar
- Sucralosa
- Bicarbonato

3.1 Fase 1.- Determinación de las características físico-químicas del banano

2.1.1 Humedad libre

Se determinó el porcentaje de agua libre presente en la pulpa de banano en sus distintos grados de madurez. Para ello se estableció la pérdida de peso en rodajas de banano de aproximadamente 2mm de espesor, se empleó un secador de aire caliente vertical a 75°C durante 10 horas. Los datos se ordenaron en una tabla para la creación de curvas de deshidratación.

% de Humedad libre: $[(\text{Peso inicial} - \text{peso final}) / \text{peso inicial}] * 100$ (Ecuación 1)

3.1.2 Firmeza

Para medir la firmeza de la pulpa se empleó un penetrómetro que mide la fuerza en gramos necesaria para penetrar la pulpa con un puntal de 8mm de diámetro y de área efectiva de 0,5 cm². Para obtener un promedio válido se realizaron 3 repeticiones con bananos de distintos lotes y se efectuó una interpolación de datos. Las mediciones se realizaron en el centro de la fruta. Para determinar la presión ejercida en kilogramos fuerza sobre centímetro cuadrado se ocupó la tabla de conversión del Anexo 2.

3.1.3 Viscosidad

Para medir la viscosidad del puré de banano en los distintos grados de madurez se ocupó un viscosímetro de Brookfield con las siguientes condiciones:

- Spin: R3 (Máx 1000 cp)
- Velocidad: 60 rpm.
- Torsión : RVDV-E 7 0,7187 milli Newton-m
- Tiempo: 1 min
- Constante de conversión del spin : 10

En la experimentación se usó 500 ml de muestra al 80% de concentración, para determinar la cantidad de la muestra (MBH), se ocupó las formulas de la ecuación 2 y 3, citadas en el manual de operación del viscosímetro digital modelo DV-E. Los datos obtenidos en la máquina están expresados en centipoise. Para obtener el rango de viscosidad del fluido los datos obtenidos se multiplicaron por la constante de conversión del spin (10).

$$MBH= C \times S /100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Dónde:

C=Concentración de la solución (%)

S=Peso total de la solución (gramos)

$$V= \text{Peso total de la solución} - MBH \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Dónde:

V=Volumen de agua para la muestra

3.1.4 Solidos totales

Para determinar el contenido de azúcares en la pulpa de banano se usó un refractómetro de 10-30 grados Brix. Para el análisis se pesó 100g de pulpa que fueron triturados con ayuda de una licuadora industrial para la elaboración de un puré homogéneo. Por último, se colocó 4 gotas en el refractómetro y se midió los grados Brix. Se realizaron 5 repeticiones con bananos de distinto lote para obtener un promedio válido.

3.1.5 pH

Se determinó el potencial de hidrógeno de la pulpa con ayuda de un potenciómetro digital. Para tomar las medidas se pesó 100 g de puré a temperatura ambiente y se realizó 4 repeticiones para obtener un promedio válido.

3.1.6 Caracterización organoléptica

Se evaluó los atributos de color, olor, sabor y textura de la fruta en cada grado de madurez y se degustó la pulpa varias veces hasta llegar a una evaluación descriptiva concreta de cada grado. Se aplicó esta metodología para determinar el grado de madurez adecuado para su utilización en la formulación de masas.

3.2 Fase 2.- Obtención de harina

3.2.1 Variación de color según el grado de madurez

Esta fase consistió en comparar la variación de color existente entre las harinas obtenidas de bananos de distintos grados de madurez. Para la obtención de harina se usó una solución antioxidante con un agente reductor (ácido ascórbico) y un acidulante (ácido cítrico) en las concentraciones indicadas en la figura 4.

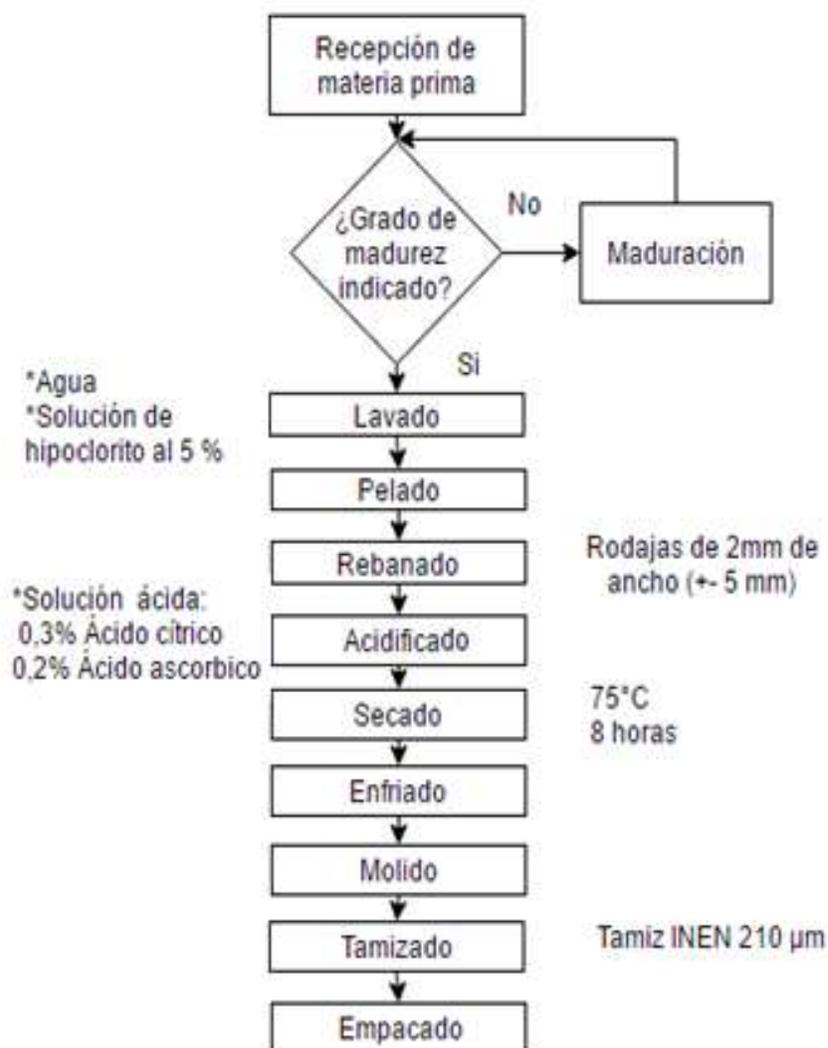


Figura 4: Diagrama de flujo para la obtención de harina de banano.

3.2.2 Descripción del proceso de obtención de harina

- **Recepción de materia prima:** Se usó bananos de los 7 grados de madurez. Se realizó una inspección visual para clasificarlos.
- **Lavado:** Consistió en eliminar toda la suciedad y resinas presentes en la cáscara para evitar la contaminación cruzada de la pulpa. Se empleó una solución de hipoclorito que ayuda a eliminar las altas cargas microbiológicas.
- **Pelado:** Consistió en separar las cáscaras de la fruta, con el cual se obtuvo el rendimiento de la pulpa banano como se indica en la ecuación 4.

$$\%Re = (\text{Peso final} / \text{Peso inicial}) * 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

- **Rebanado:** Cada rodaja se cortó con un grosor de alrededor de 2mm. Mientras más delgadas sean las rodajas será más rápida la deshidratación.
- **Acidificado:** Las muestras de banano cortadas fueron sumergidas por 10 minutos en soluciones ácidas para evitar el pardeamiento. Para el tratamiento ácido se utilizó agua a temperatura ambiente con 0,3% de ácido ascórbico y 0,2% de ácido cítrico.
- **Secado:** Se colocó las muestras en el horno deshidratador a 75°C por 8 horas.
- **Enfriado y Molido:** Las rodajas se dejaron en reposo hasta que llegaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se molió en un molido de discos. La harina obtenida fue sometida a un análisis de granulometría y tonalidad.

3.2.3 Medición de tonalidad

Se tomó 100g de muestra de harina de cada grado de madurez y se colocó en una superficie blanca opaca. Con ayuda de un colorímetro, se midió el color patrón y se compara con las muestras. El color patrón fue el de la harina de banano de marca comercial Banavit®. Los resultados se expresan en variación de luminosidad (ΔE).

3.2.4 Tratamiento térmico para inhibir el pardeamiento

En el apartado 3.2.4 se determinó que la harina de grado de madurez 3 presentó menos pardeamiento y variación de color. Este grado de madurez se seleccionó para el ensayo de inactivación de enzimas para reducir más el pardeamiento. Para inactivar la enzima polifenol oxidasa se aplicó un tratamiento térmico que consiste en la inmersión la fruta entera en agua caliente por distintos tiempos y temperaturas, estos tratamientos se aplicaron previamente al proceso de pelado.

En la evaluación se utilizó un colorímetro para medir las variaciones de tonalidades de las harinas (ΔE) y detectó cual fue el tiempo y temperatura óptimo de escaldado. En el análisis de datos se aplicó un DBCA con arreglo factorial (2x2) y se determinó el coeficiente de variación también se realizó un análisis de varianza con prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% para determinar la diferencia significativa de medias y su interacción. Los datos fueron analizados con ayuda del programa Infostat®. A continuación se indica el diseño experimental para la inhibición de pardeamiento de la harina

- Repeticiones: 5
- Factores: 2 (Temperatura y Tiempo)
- Variable: Color (Expresada en variación de luminosidad)
- Tratamientos: 4
- Unidades experimentales: 20

Tabla 9: Diseño factorial para el tratamiento antipardeamiento.

Repeticiones	Factor 1 Temperatura	Factor 2 Tiempo
1	1 (75°C)	1 (6 min)
1	1 (75°C)	2 (8 min)
1	2 (85°C)	1 (6 min)
1	2 (85°C)	2 (8 min)
2	1 (75°C)	1 (6 min)
2	1 (75°C)	2 (8 min)
2	2 (85°C)	1 (6 min)
2	2 (85°C)	2 (8 min)
3	1 (75°C)	1 (6 min)
3	1 (75°C)	2 (8 min)
3	2 (85°C)	1 (6 min)
3	2 (85°C)	2 (8 min)
4	1 (75°C)	1 (6 min)
4	1 (75°C)	2 (8 min)
4	2 (85°C)	1 (6 min)
4	2 (85°C)	2 (8 min)
5	1 (75°C)	1 (6 min)
5	1 (75°C)	2 (8 min)
5	2 (85°C)	1 (6 min)
5	2 (85°C)	2 (8 min)

3.3 Fase 3.- Caracterización del proceso horneado

Se utilizó la harina de banano con menor pardeamiento de la fase 3.2.5 para la elaboración del snack cilíndrico crujiente. Se realizaron varias pruebas hasta conseguir la formulación adecuada para la creación de una masa elástica.

3.3.1 Procedimiento

Para el desarrollo del prototipo de snack se aplicó el siguiente diagrama de flujo:

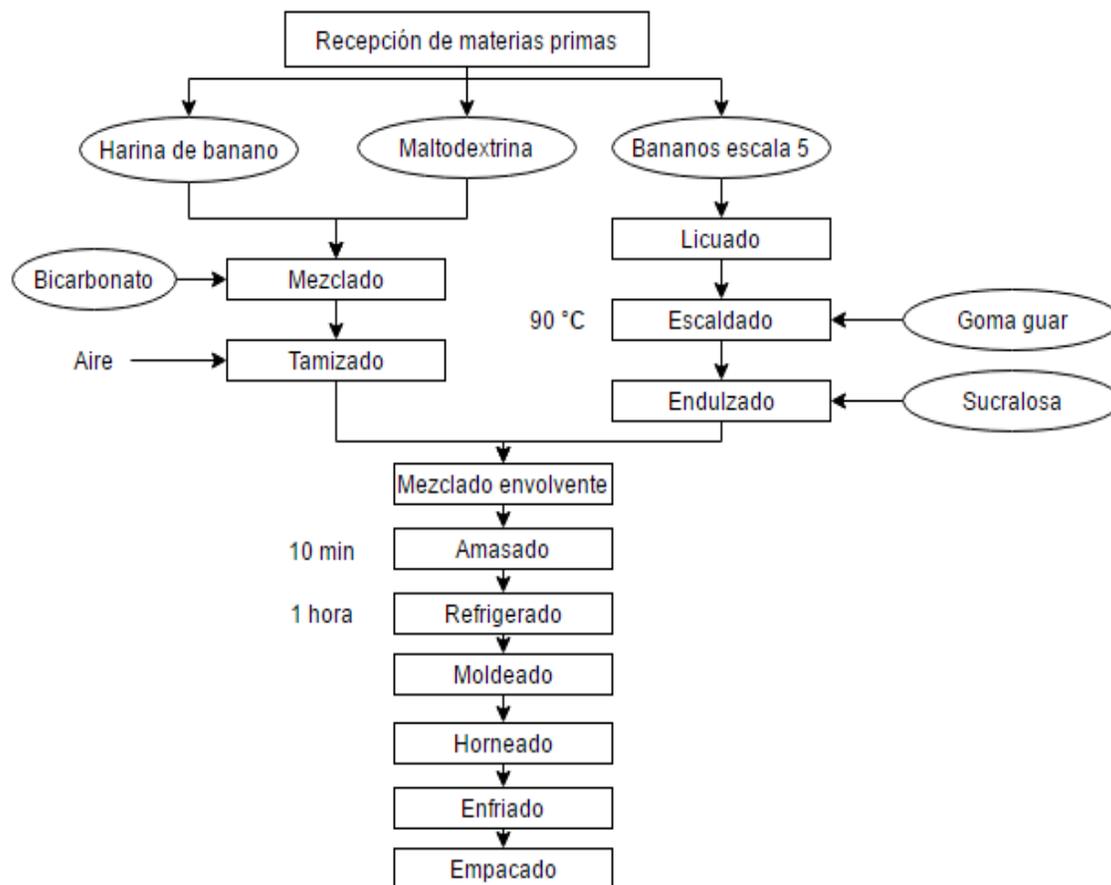


Figura 5: Diagrama de flujo para la obtención de snack horneado.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada proceso que se siguió para la elaboración del snack:

- Recepción de materias primas:** Se realizó una inspección para determinar el buen estado y calidad de las materias primas, se comprobó que estén libres de contaminación y olores extraños.

- **Mezclado de ingredientes secos:** Después de pesar la maltodextrina, bicarbonato y harina de banano de las distintas formulaciones, se procedió a mezclar en una bolsa estéril para continuar con el tamizado en una relación bicarbonato-harina de 1:100.
- **Tamizado:** Consistió en añadir aire a las harinas para que la masa quede más suave y esponjosa. Se realizó 2 tamizados en mallas INEN de 210 μm . Este proceso también sirve para eliminar impurezas y residuos de banano que no fueron molidos.
- **Licuada:** La pulpa de banano fue licuada hasta crear una pasta homogénea o puré. No se adiciona agua extra.
- **Escaldado:** El puré de banano fue calentado a baño maría hasta alcanzar los 90°C y se colocó poco a poco la goma guar con agitación constante en una relación goma-harina de 2:100.
- **Endulzado:** El puré escaldado fue endulzado con sucralosa, se utilizó 8 gramos por cada kilo de banano, se debe mantener agitación constante.
- **Mezclado envolvente:** Se incorporó el puré en la harina de manera envolvente para que ingrese aire a la mezcla.
- **Amasado:** Ayuda a que todos los ingredientes se integren y que el bicarbonato reaccione generando CO_2 . De pruebas anteriores, se estableció que el tiempo de amasado debe ser de 10 minutos para que el producto sea estable. En tiempos menores no se unificaron todos los ingredientes y en mayores la masa se endureció.

- **Refrigerado:** Ayudó a que la masa no se contraiga en el moldeado y para que los gránulos de almidón absorban más agua. Se dejó enfriar por 1 hora a 4°C.
- **Moldeado:** La masa se extendió y se cortó en porciones. Cada cilindro tiene aproximadamente 6cm de longitud y pesa 2 gramos.
- **Horneado:** Se empleó varios tratamientos de temperatura y tiempo. Se utilizó un horno industrial a gas con calor uniforme.

3.3.2 Diseño experimental para el proceso de horneado

Para el análisis de datos de variación de textura se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial (2x2x2). Se determinó el coeficiente de variación y análisis de varianza con prueba de comparación de Tukey al 5% para determinar la diferencia significativa de medias y su interacción. Los datos fueron analizados con ayuda del programa Infostat®.

- Testigo: Palitos de bizcocho de marca comercial “Mikados®”
- Repeticiones: 3
- Factores: 3 (Formulación, temperatura y tiempo)
- Variable: Textura (Expresada en presión - kgf/cm²)
- Tratamientos: 8
- Unidades experimentales: 24

Tabla 10. Descripción de las formulaciones del factor 1.

Formulación	% Harina de banano	% Puré de banano	% Maltodextrina
A1	50	40	10
A2	30	50	20

Tabla 11. Diseño factorial para el procedimiento de horneado.

Repeticiones	Factor 1 Formulación	Factor 2 Temperatura	Factor 3 Tiempo
1	1 (A1)	1 (160 °C)	1 (30 min)
1	1 (A1)	2 (180 °C)	1 (30 min)
1	1 (A1)	1 (160 °C)	2 (40 min)
1	1 (A1)	2 (180 °C)	2 (40 min)
1	2 (A2)	1 (160 °C)	1 (30 min)
1	2 (A2)	2 (180 °C)	1 (30 min)
1	2 (A2)	1 (160 °C)	2 (40 min)
1	2 (A2)	2 (180 °C)	2 (40 min)
2	1 (A1)	1 (160 °C)	1 (30 min)
2	1 (A1)	2 (180 °C)	1 (30 min)
2	1 (A1)	1 (160 °C)	2 (40 min)
2	1 (A1)	2 (180 °C)	2 (40 min)
2	2 (A2)	1 (160 °C)	1 (30 min)
2	2 (A2)	2 (180 °C)	1 (30 min)
2	2 (A2)	1 (160 °C)	2 (40 min)
2	2 (A2)	2 (180 °C)	2 (40 min)
3	1 (A1)	1 (160 °C)	1 (30 min)
3	1 (A1)	2 (180 °C)	1 (30 min)
3	1 (A1)	1 (160 °C)	2 (40 min)
3	1 (A1)	2 (180 °C)	2 (40 min)
3	2 (A2)	1 (160 °C)	1 (30 min)
3	2 (A2)	2 (180 °C)	1 (30 min)
3	2 (A2)	1 (160 °C)	2 (40 min)
3	2 (A2)	2 (180 °C)	2 (40 min)

3.3.3 Evaluación de las características afectivas del producto.

De la fase 3 se escogió los 2 mejores tratamientos de textura. Estos se codificaron y fueron sometidos a pruebas afectivas por los panelistas. Para que sea representativa la evaluación se realizó con un panel semientrenado, conformado por 50 personas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial y Alimentos (Anexo 3).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Fase 1: Determinación de las características físico- químicas del banano

4.1.1 Humedad libre

La curva se vuelve asintótica desde la hora 8, presentando pérdidas de agua poco significativas como se indica en el anexo 1. De acuerdo a los datos de la tabla 12, a partir del grado de madurez 4 se da un incremento significativo de agua libre en la pulpa, esto se debe a la migración de agua desde la cáscara hacia la pulpa. En este grado de madurez, la cáscara se vuelve más suave y delgada por la pérdida de agua.

Tabla 12: Pérdidas de peso durante el proceso de deshidratación.

Tiempo (horas)	Madurez 1	Madurez 2	Madurez 3	Madurez 4	Madurez 5	Madurez 6	Madurez 7
0	450,31	502,96	507,78	450,82	563,52	507,06	370,12
2	435,26	498,45	466,60	445,19	559,72	463,91	346,01
4	422,76	450,33	450,31	421,87	547,30	438,30	339,77
6	398,53	426,91	436,44	376,24	462,9	401,73	289,13
8	386,90	425,88	425,12	352,93	431,02	373,04	269,42
10	385,27	424,72	424,97	351,62	430,88	372,44	270,65
Humedad libre (%)	14,4	15,6	16,3	22,0	23,5	26,5	26,9

En cuanto a las pérdidas de peso durante la deshidratación se encontró que desde el estado 6 las pérdidas de agua son menores por la cristalización de azúcares en la superficie que evitan que el calor pase al interior de las láminas de fruta. El tiempo óptimo de deshidratación para la obtención de harina es de 8 horas.

La humedad libre en el grado de madurez 3 es de 16,3% con una tendencia media creciente de 13%, pero en el grado de madurez 4 sube a 22% de humedad con una tendencia media creciente de 21%.

Aunque los 3 primeros estados de madurez son aptos para la obtención de harina por su bajo porcentaje de humedad y de azúcares, se debe recalcar que los grados de madurez 1 y 2 son poco palatables por ser resinosos y de sabor astringente por el alto contenido de taninos.

4.1.2 Firmeza

La firmeza es inversamente proporcional al grado de maduración, a mayor madurez menor firmeza. En la columna media de la tabla 13, se observa que a partir del estado de madurez 5 hay un descenso significativo de firmeza, esto se debe a la conversión de almidones hacia azúcares y la degradación de las estructuras vegetales. Para la elaboración de harina se necesita que la fruta sea firme, mientras más suave sea la fruta es mayor merma en los procesos de laminado y pelado.

Tabla 13: Pérdidas de firmeza durante el proceso de maduración.

Grado de madurez	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio (kg/cm ²)
1	4,0	3,7	4,2	3,9
2	4,2	3,5	3,0	3,5
3	3,4	3,3	2,9	3,2
4	2,9	3,4	3,2	3,2
5	1,5	1,9	1,4	1,6
6	1,3	1,5	1,7	1,5
7	1,1	1,4	1,1	1,2

En cuanto a la elaboración de puré, es preferible usar frutas con menor firmeza, ya que esta propiedad está directamente ligada a la madurez de la fruta. En el grado de madurez 5, la fruta se vuelve suave e inicia la madurez comercial desarrollando atributos de sabor y aroma por la reducción de acidez y conversión de almidones en azúcares. Los purés elaborados con los grados de madurez mayores o iguales a 5 se ligan perfectamente con la harina creando masas suaves y humectadas

4.1.3 Viscosidad

La viscosidad aumenta progresivamente con el grado de madurez hasta alcanzar su pico en el estado de madurez 5. En la tabla 14, se puede observar que la viscosidad aumenta significativamente desde la escala 3 debido al aumento de azúcares, los cuales son responsables del aumento de cremosidad de la pulpa. Desde la escala 6, la viscosidad disminuye dada la fermentación de los azúcares y la solubilización de las sustancias pécticas.

Tabla 14: Viscosidad promedio de puré de banano a 80% de concentración.

Escala de madurez	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Promedio (centipoise)
1	6800	6780	6960	6840	6845
2	7400	7860	7580	7900	7685
3	9020	8980	9060	9040	9025
4	9450	9860	9350	9520	9545
5	9730	9500	9880	9960	9768
6	8330	8760	8510	8960	8640
7	8030	7880	7940	7720	7893

La viscosidad es un parámetro determinante para la elección de la escala de madurez en la elaboración de purés como sustitutos de la grasa en masas. Esto se debe a que a mayor viscosidad, mayor es la estabilidad de la masa. El puré actúa como un agente ligante y humectante de la masa.

4.1.4 Sólidos totales

Los sólidos totales tienen un aumento significativo desde el grado de madurez 4. En la tabla 15, se puede observar que el contenido de sólidos aumenta progresivamente teniendo un pico en el estado de madurez 6. En el grado 7, se da un descenso de sólidos, ya que inicia el proceso de fermentación que reduce los azúcares presentes. La conversión de almidones se da inicio en el grado de madurez 4.

Tabla 15: Sólidos totales presentes en la pulpa de banano.

Grado de madurez	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 1	Desviación Estándar	Promedio
1	12	10	14	12	10	2	11
2	14	12	14	10	15	2	14
3	15	16	16	14	14	1	15
4	22	20	18	22	24	2	21
5	26	26	24	20	25	2	25
6	24	26	28	28	26	2	27
7	22	24	26	24	28	2	25

Para el puré se necesita un grado de madurez igual o mayor a 4 que aporte sabor a la masa. Tomando en cuenta las propiedades anteriores se decidió utilizar el grado de madurez 5 para potenciar más el sabor en el producto final. En la elaboración de harina se debe usar bananos con bajo contenido de sólidos para evitar el pardeamiento y caramelización. Aunque industrialmente se suele utilizar el grado de madurez 1, se ha decidido ocupar el estado 3, en la cual inicia la producción de aroma y sabor característico de la fruta para el producto final.

4.1.5 pH

El pH tiende a volverse alcalino con la maduración. En el grado de madurez 1 es ácido mientras que en 7 tiende a la neutralidad. En la tabla 16, se puede observar que el pH aumenta progresivamente, teniendo un aumento significativo en el estado 4.

Tabla 16: Aumento del pH durante el proceso de maduración

Escala de madurez	Repetición1	Repetición2	Repetición3	Repetición4	Desviación estándar	Promedio
1	4,5	4,2	4,1	4,5	0,2	4,3
2	4,3	4,7	4,2	5,1	0,4	4,4
3	4,6	4,8	5,1	4,8	0,2	4,7
4	5,7	5,1	5,6	5,4	0,3	5,6
5	5,5	5,7	5,5	5,4	0,1	5,5
6	5,9	6,2	5,7	5,6	0,3	5,7
7	6,3	5,9	5,7	6,1	0,3	6,0

La literatura indica que las enzimas PPO tienen un punto óptimo de actividad catalítica a un pH igual o superior a 5. Los 3 primeros grados de madurez tienen un pH ácido que ayuda naturalmente a evitar el pardeamiento enzimático. La polifenol oxidasa actúa de mejor manera en pH de 5 a 7 mientras que a pH más ácido se inactiva. Esta característica fue tomada en cuenta para la obtención de harina.

El equilibrio de pH y azúcares ayuda a que la fruta tenga un sabor agradable y aceptación comercial. Desde el estado de madurez 5 el sabor característico de la fruta haciéndola apta para la elaboración de puré.

4.1.6 Rendimiento de la pulpa

En los primeros grados de madurez, la pulpa tiene menor peso que la cáscara generando pérdidas significativas de peso después del pelado. En la tabla 17 se puede observar que el grado de madurez 4 tiene el mejor rendimiento. Desde el grado de madurez 5, se tiene rendimientos bajos por las mermas en el pelado y el alto contenido de agua que se pierde en el deshidratado.

Tabla 17: Rendimiento del proceso de pelado.

Grado de madurez	Peso total	Peso pulpa	Peso cáscara	% Rendimiento
1	1125,77	450,41	675,36	40,00
2	1206,05	502,96	703,09	41,70
3	1175,62	507,78	667,84	43,20
4	1008,54	450,82	557,72	44,70
5	1507,39	563,52	943,87	37,38
6	1364,11	507,06	857,05	37,17
7	1002,67	370,12	632,55	36,91

4.1.7 Caracterización organoléptica

Como resultado de esta fase se tiene que el grado de madurez 3 es el óptimo para la obtención de harina, mientras que el estado 5 es el mejor para la producción de puré. El estado de madurez 4, tuvo el mejor rendimiento de la pulpa con un total de 45%, sin embargo no es apta para la obtención de harina por su alto contenido de azúcares y humedad. Se decidió escoger el grado de madurez 3 por tener el segundo mejor rendimiento (43%), bajo contenido de azúcares y humedad. En este grado de madurez, el banano es firme y tiene un alto contenido de almidón que ayuda dar cuerpo a la masa. Finalmente, en este grado el pH continua siendo ácido inhibiendo naturalmente el pardeamiento enzimático.

En el caso de la producción de puré el mejor estado de madurez fue el de grado 5, el factor determinante para escoger este grado de madurez fue su alta viscosidad, 9768 centipoise. En este estado, la pulpa tiene un balance adecuado entre azúcares y agua dando como resultado una mayor cohesividad entre sus moléculas las mismas que actúan como una malla ligante que retiene el agua en la masa a la vez que aporta con sabor. En este grado ya se puede sentir el aroma y sabor característico de la fruta. El aroma se debe a la producción de acetato de amilo y ácido acético. En la tabla 18 se indica cómo varían los atributos organolépticos de acuerdo al grado de madurez.

Tabla 18: Caracterización organoléptica de banano cavendish.

Grado de Madurez	Color	Sabor	Olor	Textura
1	Toda la fruta es de color verde oscuro opaco.	La pulpa es lechosa y con sabor astringente por la presencia de taninos.	No se detecta un olor particular.	La cáscara es dura y gruesa con alto contenido de agua. La pulpa es dura y seca.
2	La superficie es verde claro con más brillo que la anterior.	La pulpa es lechosa y con sabor astringente.	No se detecta un olor particular.	La cáscara es dura y con menor contenido de agua. La pulpa es dura y seca.
3	La fruta inicia a tomar una tonalidad amarillenta por la degradación de clorofila.	Reduce su astringencia. Inicia el aumento de sabor dulce.	Se siente el aroma ligeramente dulce y frutal.	La pulpa se vuelve más suave. La cáscara disminuye en grosor.
4	La fruta presenta zonas amarillas especialmente en el centro. Las puntas continúan verdes.	Se equilibra la acidez con el sabor dulce.	Olor característico de la fruta debido a la producción de compuestos orgánicos.	La cáscara es suave y es fácil de retirar, la pulpa es jugosa.
5	75% de la fruta es amarilla con las puntas verdes claras.	Sabor dulce característico de la fruta.	Se intensifica el olor de la fruta.	La cáscara es delgada y suave. La pulpa es firme.
6	Fruta 100% amarilla y brillante.	Máximo sabor propio de la fruta.	Aroma dulce característico de la fruta.	La cáscara es más delgada y suave. La pulpa es cremosa.
7	Toda fruta presenta manchas marrones y la tonalidad amarilla es más opaca.	Sabor muy dulce ligeramente fermentado en las zonas oscuras.	Aroma dulce, ligeramente fermentado.	La pulpa se vuelve blanda y jugosa. Las zonas marrones se tornan duras.

4.2 Fase 2: Obtención de harina

La harina con menor pardeamiento fue la de grado de madurez 3. En la tabla 19 se observa que existe una variación significativa desde el grado 4 esto se debe al alto contenido de azúcares, mayor a 20 grados Brix.

Los grados 5 y 7 no son aptos para la obtención de harina debido a la cristalización de azúcares que dan lugar a costras duras y pardas en la superficie de las rebanadas. En el proceso de molienda, se notó que el centro de las rodajas continuaba húmedo generando una pasta melcochosa que se adhería al disco del molino evitando la rotación.

El pardeamiento en los 2 primeros estados de madurez se debe al alto contenido de resinas que no pudieron ser eliminados con el tratamiento ácido aplicado. A diferencia de los otros grados de madurez, las rebanadas de banano sólo presentaron pardeamiento en los bordes.

Tabla 19: Variación de color según escala de madurez

Grado de madurez	R1	R2	R3	R4	R5	Desviación Estándar	Promedio
1	8,7	6,7	7,9	10,3	8,8	1,3	8,5
2	7,8	6,6	6,9	7,3	7,2	0,5	7,1
3	5,6	6,4	6,8	7,1	5,8	0,6	6,3
4	11,9	8,5	10,1	9,8	11,5	1,4	10,5
5	16,2	15,9	16,6	16,8	17,2	0,5	10,9
6	18,7	19,6	20,1	18,9	18,2	0,8	19,1
7	21,7	19,9	20,6	21,1	21,9	0,8	21,3

4.2.1 Diseño experimental para la inhibición de pardeamiento de la harina

Se estableció que el escaldado es un método efectivo para inactivación enzimática gracias a la baja termoestabilidad de la polifenol oxidasa. El análisis estadístico de la tabla 21 indica que la variación de tiempos es poco significativa, esto quiere decir que no es un factor que influye drásticamente en la inactivación de las enzimas. La variación del factor de temperatura si es significativa, en la tabla 22 se puede observar que la diferencia de las medias es alta. A mayor temperatura se tiene una mejor inactivación de enzimas y reducción de pardeamiento.

En cuanto a las interacciones, el tratamiento 4 (85°C por 8 minutos) presentó los mejores resultados con una variación de color de 5,92. Al no existir diferencias significativas entre el tratamiento 3 y 4 se decidió utilizar el tratamiento 3 (85 °C por 6 minutos) para la producción de harina de la fase 3.

Tabla 20: Resultados de variación de color en los distintos tratamientos.

Tratamientos	Repetición1	Repetición2	Repetición3	Repetición4	Repetición5
T1	6,5	6,9	6,6	7,1	6,7
T2	6,8	5,8	6,2	5,9	6,4
T3	6,3	5,9	5,7	6,4	5,6
T4	6,1	5,6	6,3	5,9	5,7

Tabla 21: Análisis de fuentes de variación.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Valor p
Total	19	3,91			
Repeticiones	4	0,39	0,10	0,79	0,5641
Temperatura	1	1,46	1,46	11,88	0,0087
Tiempo	1	0,45	0,45	3,67	0,0919
Temperatura x tiempo	1	0,29	0,29	2,35	0,1641
Error	8	0,98	0,12		
Coeficiente variación	5,63				

Tabla 22: Prueba de Tukey al 5% para comparación de medias entre factores

Temperatura	Medias	Error experimental	
1 (75°C)	6,49	0,11	A
2 (85°C)	5,95	0,11	B

Tiempo	Medias	Error experimental	
1 (6 min)	6,37	0,11	A
2 (8 min)	6,07	0,11	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 23: Prueba de Tukey al 5% para comparación de tratamientos

Temperatura	Tiempos	Medias	Error experimental		
1	1	6,76	0,16	A	
1	2	6,22	0,16	A	B
2	1	5,98	0,16		B
2	2	5,92	0,16		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

4.3 Fase 3.- Caracterización del proceso horneado

4.3.1 Componentes

Las materias primas utilizadas para la producción de snacks crujientes son:

- **Almidón de banano**

En el producto que se desarrolló se usó harina libre de gluten como la harina de banano y la maltodextrina de maíz, ambas se ocuparon para darle cuerpo a la mezcla. Se comprobó que la harina de banano puede sustituir a la harina de trigo en la elaboración de productos panificables siempre y cuando se utilice alguna goma que sustituya al gluten. La harina de banano en comparación a la de trigo es rica en almidones resistentes.

El almidón total disponible en esta harina es de 73,42% de este el 24,82% es resistente. El 48,59% restante es almidón regular que se metaboliza después de la

ingestión. Para reducir este porcentaje se sometió al producto a varios tratamientos térmicos y de hidratación para transformarlo en almidón retrogradado disminuyendo el valor calórico del producto final.

- **Lípidos**

Como sustituto de grasa se empleó puré de banano como agente ligante y mejorador de textura. El contenido de agua del puré nos ayuda a mezclar todos los ingredientes. Se empleó puré de grado de madurez 5 por mejor palatabilidad y propiedades reológicas.

- **Agente leudante**

Se utilizó bicarbonato de sodio ya que no cambia el sabor de la masa. Su uso produce un producto más crujiente por la generación de gas, pero menos esponjoso en comparación con la levadura.

- **Azúcares**

El puré, a pesar de su alto contenido de azúcares no aporta el suficiente sabor al producto, por lo que también se utilizó sucralosa como edulcorante no calórico.

4.3.2 Diseño experimental para el proceso de horneado

El análisis estadístico de la tabla 26 indica que la variación del factor formulación es significativa, la formulación A1 tiene una media de textura mayor que la A2, esto se debe al mayor contenido de almidón de la primera formulación. A mayor contenido de almidón mayor retención de agua disponible y tamaño de miga.

La variación del factor temperatura es significativa, a mayor temperatura tenemos mayor textura, esto se debe a la rápida evaporación del agua y al menor tiempo de producción de gas. Cuando las masas producen mayor cantidad de gas aumentan

su volumen y se hacen esponjosas, mientras que las que producen menos CO₂ son más crujientes y duras.

La variación del factor de tiempo también es significativa, a mayor tiempo de horneado mayor pardeamiento. Alrededor de los 90°C se produce la caramelización de los azúcares y desnaturalización de aminoácidos creando una corteza dura y crocante en el producto aumentando su textura. Las muestras que se sometieron a calor por más tiempo fueron más esponjosas. Todos los datos de textura fueron analizados a temperatura ambiente.

En cuanto a las interacciones, Los 2 mejores tratamientos de textura fueron el tratamiento 6 y el tratamiento 2. En el tratamiento 6, se utilizó la formulación A2 y en el tratamiento 2 se usó la formulación A1, ambas tuvieron una temperatura óptima de horneado de 180 °C por 20 minutos.

La variación de temperaturas e hidratación de la harina nos ayuda a cambiar la estructura molecular de los almidones disponibles convirtiéndolos en compuestos resistentes a la digestión.

Tabla 24: Resultados de variación de textura en los distintos tratamientos

Tratamientos	Repetición1	Repetición2	Repetición3
T1	1,4	1,3	1,4
T2	1,5	1,5	1,4
T3	1,1	1,0	1,0
T4	1,3	1,4	1,4
T5	1,0	0,9	0,9
T6	1,5	1,5	1,6
T7	0,8	0,8	0,7
T8	0,9	0,9	0,8

Tabla 25: Análisis de fuentes de variación

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Valor p
Total	23	1,93			
Repeticiones	2	0,01	2,9E-03	0,86	0,4445
Formulación	1	0,48	0,48	141,96	<0,0001
Temperatura	1	0,48	0,48	141,96	<0,0001
Tiempo	1	0,60	0,60	177,33	<0,0001
Formulación x temperatura	1	0,03	0,03	7,86	0,0141
Formulación x tiempo	1	0,06	0,06	17,68	0,0009
Temperatura x tiempo	1	0,03	0,03	7,86	0,0141
Form x temp x tiempo	1	0,20	0,20	59,44	<0,0001
Error	14	0,05	3,4E-03		

Coefficiente de variación: 4,99

Tabla 26: Prueba de Tukey al 5% para comparación de medias entre factores

Formulación	Medias	Error experimental	
1	1,31	0,02	A
2	1,03	0,02	B
Temperatura	Medias	Error experimental	
2	1,31	0,02	A
1	1,03	0,02	B
Tiempo	Medias	Error experimental	
1	1,33	0,02	A
2	1,01	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 27: Prueba de Tukey al 5% para comparación de tratamientos

Formulación	Temperatura	Tiempo	Medias	Error experimental	
2	2	1	1,53	0,03	A
1	2	1	1,47	0,03	A
1	2	2	1,37	0,03	A
1	1	1	1,37	0,03	A
1	1	2	1,03	0,03	B
2	1	1	0,93	0,03	B C
2	2	2	0,87	0,03	B C
2	1	2	0,77	0,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

4.4 Pruebas de aceptación y análisis sensorial

De la fase anterior se escogió el tratamiento 6 y 2, cada uno fue codificado y presentado a 50 panelistas para la evaluación. El producto A perteneciente al tratamiento 6 se destacó por tener las siguientes características: mayor contenido de harina que de puré, textura más crujiente y color café oscuro; el producto B perteneciente al tratamiento 2, tiene igual contenido de harina que de puré y textura más esponjosa que la anterior. En la tabla 28 se indica la valoración de los atributos de los distintos productos, los consumidores prefirieron el producto B, el rango de edad de los panelistas va desde los 18 a 28 años.

Tabla 28: Resultados de la evaluación de snacks de banano

Resultados	Producto A				Producto B			
	Olor	Sabor	Textura	Apariencia	Olor	Sabor	Textura	Apariencia
Promedio	4,02	4,00	4,00	3,80	4,06	4,20	4,30	3,96
Des. estándar	0,71	0,57	0,64	0,70	0,71	0,70	0,76	0,75
Máxima	4,73	4,57	4,64	4,50	4,77	4,90	5,06	4,71
Mínima	3,31	3,43	3,36	3,10	3,35	3,50	3,54	3,21
Mediana	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Variación	0,18	0,14	0,16	0,18	0,18	0,17	0,18	0,19

Además de la evaluación del producto se realizó varias preguntas a los panelistas sobre el conocimiento de los beneficios que este puede aportar. Como se indica en la figura 7, el 36% de los encuestados percibió el sabor a banano en las muestras, mientras que 34% sintió el sabor de la fruta solo en el producto A.

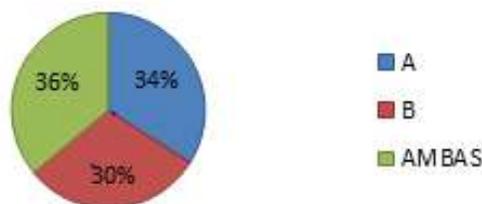


Figura 6: Diagrama de pastel sobre la percepción de sabor a banano.

En la figura 8, tan sólo el 38% de los encuestados conoce sobre los beneficios del almidón resistente. El 86% de los encuestados conoce los beneficios de incluir fibra en su dieta diaria y el 14% de encuestados ignora lo que es la enfermedad celiaca.

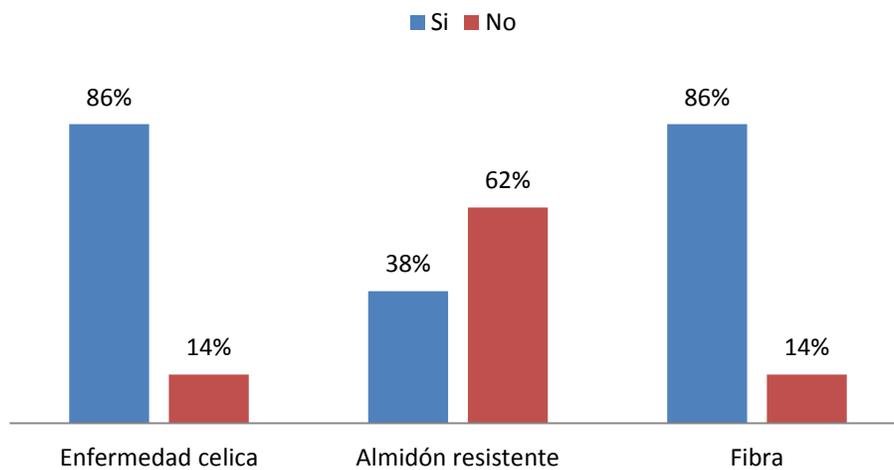


Figura 7: Resultados de la encuesta sobre alimentos funcionales.

4.5 Descripción del producto con mayor aceptación

En la tabla 29 se indica la ficha técnica del producto con mayor aceptación donde se determina los parámetros de calidad y aporte nutricional, la presentación del producto será en empaques de 10 unidades.

Tabla 29: Ficha técnica del prototipo de snacks de banano

Ficha técnica																																											
Descripción del producto	Bizcocho crujiente a base de almidón resistente de banano. Libre de lácteos, ovoproductos y grasa añadidas.																																										
Formulación	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ingredientes</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Harina de banano</td> <td>48,9 %</td> </tr> <tr> <td>Puré de banano</td> <td>39,1 %</td> </tr> <tr> <td>Maltodextrina</td> <td>9,8 %</td> </tr> <tr> <td>Bicarbonato</td> <td>0,5 %</td> </tr> <tr> <td>Goma guar</td> <td>1,0 %</td> </tr> <tr> <td>Sucralosa</td> <td>0,8 %</td> </tr> </tbody> </table>	Ingredientes	Porcentaje	Harina de banano	48,9 %	Puré de banano	39,1 %	Maltodextrina	9,8 %	Bicarbonato	0,5 %	Goma guar	1,0 %	Sucralosa	0,8 %																												
Ingredientes	Porcentaje																																										
Harina de banano	48,9 %																																										
Puré de banano	39,1 %																																										
Maltodextrina	9,8 %																																										
Bicarbonato	0,5 %																																										
Goma guar	1,0 %																																										
Sucralosa	0,8 %																																										
Tabla nutricional	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Información Nutricional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calorías</td> <td colspan="2">40</td> </tr> <tr> <td>Calorías de grasa</td> <td colspan="2">0,42</td> </tr> <tr> <td>Tamaño por porción</td> <td colspan="2">1 funda (20g)</td> </tr> <tr> <td>Porciones por envase</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Gramos</td> <td>% valor diario*</td> </tr> <tr> <td>Grasa total</td> <td>0,05</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td> Ácidos grasos saturados</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td> Colesterol</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td> Sodio</td> <td>0</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Carbohidratos totales</td> <td>10</td> <td>3,33</td> </tr> <tr> <td> Fibra alimentaria</td> <td>0,19</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td> Azúcares</td> <td>3,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Proteína</td> <td>0,03</td> <td>0,06</td> </tr> </tbody> </table> <p>* Los porcentajes de los valores diarios están basados en una dieta de 2000 kilocalorías.</p>	Información Nutricional			Calorías	40		Calorías de grasa	0,42		Tamaño por porción	1 funda (20g)		Porciones por envase	1			Gramos	% valor diario*	Grasa total	0,05	0,07	Ácidos grasos saturados	0	0,00	Colesterol	0	0,00	Sodio	0	0,00	Carbohidratos totales	10	3,33	Fibra alimentaria	0,19	0,76	Azúcares	3,5		Proteína	0,03	0,06
Información Nutricional																																											
Calorías	40																																										
Calorías de grasa	0,42																																										
Tamaño por porción	1 funda (20g)																																										
Porciones por envase	1																																										
	Gramos	% valor diario*																																									
Grasa total	0,05	0,07																																									
Ácidos grasos saturados	0	0,00																																									
Colesterol	0	0,00																																									
Sodio	0	0,00																																									
Carbohidratos totales	10	3,33																																									
Fibra alimentaria	0,19	0,76																																									
Azúcares	3,5																																										
Proteína	0,03	0,06																																									

Vida útil	6 meses																																			
Envase	Envase de polietileno biorientado metalizado (BOPP) con impresión.																																			
Peso neto	20 g																																			
Características sensoriales																																				
Color	Café claro																																			
Olor	Frutal																																			
Sabor	Dulce																																			
Textura	Crujiente																																			
Apariencia	Cilindros lisos y uniformes.																																			
Costos de la materia prima	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Materia Prima</th> <th style="text-align: right;">Precio kilogramo</th> <th style="text-align: right;">Cantidad gramos</th> <th style="text-align: right;">Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Harina de banano</td> <td style="text-align: right;">\$2,15</td> <td style="text-align: right;">500</td> <td style="text-align: right;">\$1,08</td> </tr> <tr> <td>Puré de banano</td> <td style="text-align: right;">\$0,90</td> <td style="text-align: right;">400</td> <td style="text-align: right;">\$0,36</td> </tr> <tr> <td>Maltodextrina</td> <td style="text-align: right;">\$1,15</td> <td style="text-align: right;">100</td> <td style="text-align: right;">\$0,12</td> </tr> <tr> <td>Bicarbonato</td> <td style="text-align: right;">\$8,00</td> <td style="text-align: right;">5</td> <td style="text-align: right;">\$0,04</td> </tr> <tr> <td>Goma guar</td> <td style="text-align: right;">\$10,50</td> <td style="text-align: right;">10</td> <td style="text-align: right;">\$0,11</td> </tr> <tr> <td>Sucralosa</td> <td style="text-align: right;">\$130,00</td> <td style="text-align: right;">8</td> <td style="text-align: right;">\$1,04</td> </tr> <tr> <td>Costo Total por kilogramo</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right; border-top: 1px solid black;">\$2,74</td> </tr> </tbody> </table>				Materia Prima	Precio kilogramo	Cantidad gramos	Total	Harina de banano	\$2,15	500	\$1,08	Puré de banano	\$0,90	400	\$0,36	Maltodextrina	\$1,15	100	\$0,12	Bicarbonato	\$8,00	5	\$0,04	Goma guar	\$10,50	10	\$0,11	Sucralosa	\$130,00	8	\$1,04	Costo Total por kilogramo			\$2,74
	Materia Prima	Precio kilogramo	Cantidad gramos	Total																																
	Harina de banano	\$2,15	500	\$1,08																																
	Puré de banano	\$0,90	400	\$0,36																																
	Maltodextrina	\$1,15	100	\$0,12																																
	Bicarbonato	\$8,00	5	\$0,04																																
	Goma guar	\$10,50	10	\$0,11																																
	Sucralosa	\$130,00	8	\$1,04																																
	Costo Total por kilogramo			\$2,74																																

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las variaciones físico-químicas se vuelven más significativas desde el estado de madurez 4, dada la amplia diferencia numérica alcanzada en las pruebas, que indica el desarrollo de sus atributos de color, olor y sabor.

Para la obtención de harina, el grado de madurez 3 presenta mejores características debido a su alto rendimiento, bajo pardeamiento y agradable sabor. Este es el grado de madurez en el cual se tiene mayor contenido de almidones y bajo contenido de taninos.

Para obtener un snack esponjoso de banano se debe emplear una temperatura de horneado de 160 °C por 40 minutos. En contraste, si se desea obtener un producto más crujiente, se debe utilizar una temperatura de horneado de 180 °C por 30 minutos.

Para la obtención de puré, el grado de madurez 5 tiene las mejores características físico-químicas, por el balance óptimo de agua y azúcares que favorece el aumento de cohesividad molecular y por ende la viscosidad.

Las formulaciones con mayor contenido de puré de banano son esponjosas mientras que las que tienen mayor contenido de harina de banano son más crujientes.

Los cilindros crujientes con interior esponjoso del tratamiento 2 presentaron mayor aceptación que los del tratamiento 6. Teniendo diferencias significativas en la evaluación de sabor y textura. La adición de mayor cantidad de puré potencia el sabor del producto final.

Del análisis sensorial y afectivo se concluye que los consumidores muestran agrado hacia un snack crujiente de banano con bajo contenido calórico. Las características consideradas más importantes al momento de consumir este producto fueron el sabor y el precio del snack.

5.2 Recomendaciones

El estado de madurez 4 puede ser apto para la elaboración de bebidas naturales de banano debido a su alto contenido de humedad y azúcares.

Se recomienda realizar un estudio sobre el contenido de taninos presentes en las harinas de banano comerciales.

Utilizar temperaturas mayores a 200 °C para reducir los tiempos de horneado.

Realizar estudios de viscosidad del puré de banano con una concentración del 100%.

Se sugiere utilizar formulaciones de masas líquidas tipo waffer con mayor contenido de puré de banano.

Se recomienda utilizar levaduras como agentes leudantes para la creación de snacks aireados debido al alto contenido de azúcares presentes en el banano.

Tan solo el 38% de los encuestados conoce sobre las propiedades del almidón resistente. Para mejorar la aceptación del producto se recomienda informar al consumidor sobre las ventajas que trae la ingesta regular de almidones resistentes.

Utilizar formas planas en el proceso de moldeado para reducir la temperatura y tiempo de horneado.

Disminuir la concentración de los agentes reductores y antioxidantes en el proceso de obtención de harina.

REFERENCIAS

- Agrocalidad, (2014) .Manual de aplicabilidad de buenas prácticas agrícolas de banano. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/inocuidad/manuales-aplicabilidad/manual-banano.pdf>
- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador- AEBE. (2015). Exportaciones mensuales de banano. Recuperado el 15 de Junio del 2016 de <http://www.aebe.com.ec/>
- Asociación Ecuatoriana de Molineros. (2015). Consumo de harina en el Ecuador. Recuperado el 5 de Octubre del 2016 de <http://99.192.248.8/lideres/consumo-harina-ecuador-toneladas-molinos.html>
- Campuzano, A., Cornejo, F y Ruiz, O. (2007) Banano, Estadísticas. Recuperado el 6 de junio del 2016 de e en: <http://www.sica.gov.ec>
- Fernández, K., Carvalo, V y Calvidal, J. (1973).Estudio de los cambios físicos durante la maduración del banano. Journal of food science. Vol. 44. p. 1254, 1255.
- Flores, W. (2006). Manejo de la Materia Prima para la Industria. Simposio Internacional: Usos Agroindustriales de la Fruta del Banano y Plátano. Colima, México.
- Freire, W., Ramírez, M., Belmont, P., Mendieta, M., Silva, M., Romero, N., Sáenz, K., Piñeiros, P., Gómez, L., Monge, R. (2013). Resumen ejecutivo. Tomo I. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del Ecuador. ENSANUT-ECU 2011-2013. Ministerio de Salud Pública/Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Quito, Ecuador.

- lizuka, L. (2012). Características de Musa cavendish. Facultad de ciencias alimentarias. Medellín, Colombia.
- Kramer, A. (1964). Determinación de textura en productos vegetales. Tecnología de alimentos, Vol. 18. P. 46-49.
- Marcelino, L. (2011). Manejo del racimo de plátano durante las fases de precosecha, cosecha y poscosecha. Folleto técnico. Panamá.
- Morton, J. (1987). Frutas de climas calientes: Banano. ISBN: 0-9610184-1-0. Miami: Creative Resource Systems.
- Muller, H. (1973). Introducción a la reología de alimentos. Zaragoza, España: editorial Acribia, p. 13-17, 22-34, 133-144.
- Naranjo, H. (2007). Manejo del banano- productos perecibles. Edispe, 2da edición.
- Palmer, J. (2013). Biotecnología de frutas y sus subproductos. Academic press, Londres. Vol. 2, p. 65-105.
- Pérez, P. y Marín, J. (2009). Situación actual de las harinas de banano: Usos potenciales en la agroindustria nacional. Universidad Central de Venezuela. Zulia, Venezuela. 12p
- Pillay, M y Tenkouano, A. (2011). Pan de banana cambios y proceso. Estados Unidos: Taylor and Francis Group.
- Pinto, L. (2010). Caracterización de los atributos de calidad durante el almacenamiento del banano verde (Musa cavendish) con soluciones antipardeantes. Facultad de ciencias agropecuarias universidad nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 16p.
- PRO ECUADOR- Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. (2015). Boletín mensual de comercio exterior. Junio – Julio del 2015,

Exportaciones no petroleras. Ecuador, Quito: CÓDIGO ISSN 1390-812X.

Riofrío J. (2003). Manejo Post Cosecha del Banano y Plátano, Tomo III, Guayaquil, p. 34, 57-64, 89, 128, 168.

Robinson, J y Galán, S (2011). Caracterización de bananos y platanos: fase climática.

Rowe P. (2012). Mejoramiento de banano y plátano resistentes a plagas y enfermedades. En: Memorias de Producción de banano orgánico y, o, ambientalmente amigable, EATH, Guácimo, Costa Rica, p. 56-62.

Smith, N. (2012). Degradación de la pared celular en bananos y plátanos. Aspectos de la biología aplicada. Vol.20. P. 57-65.

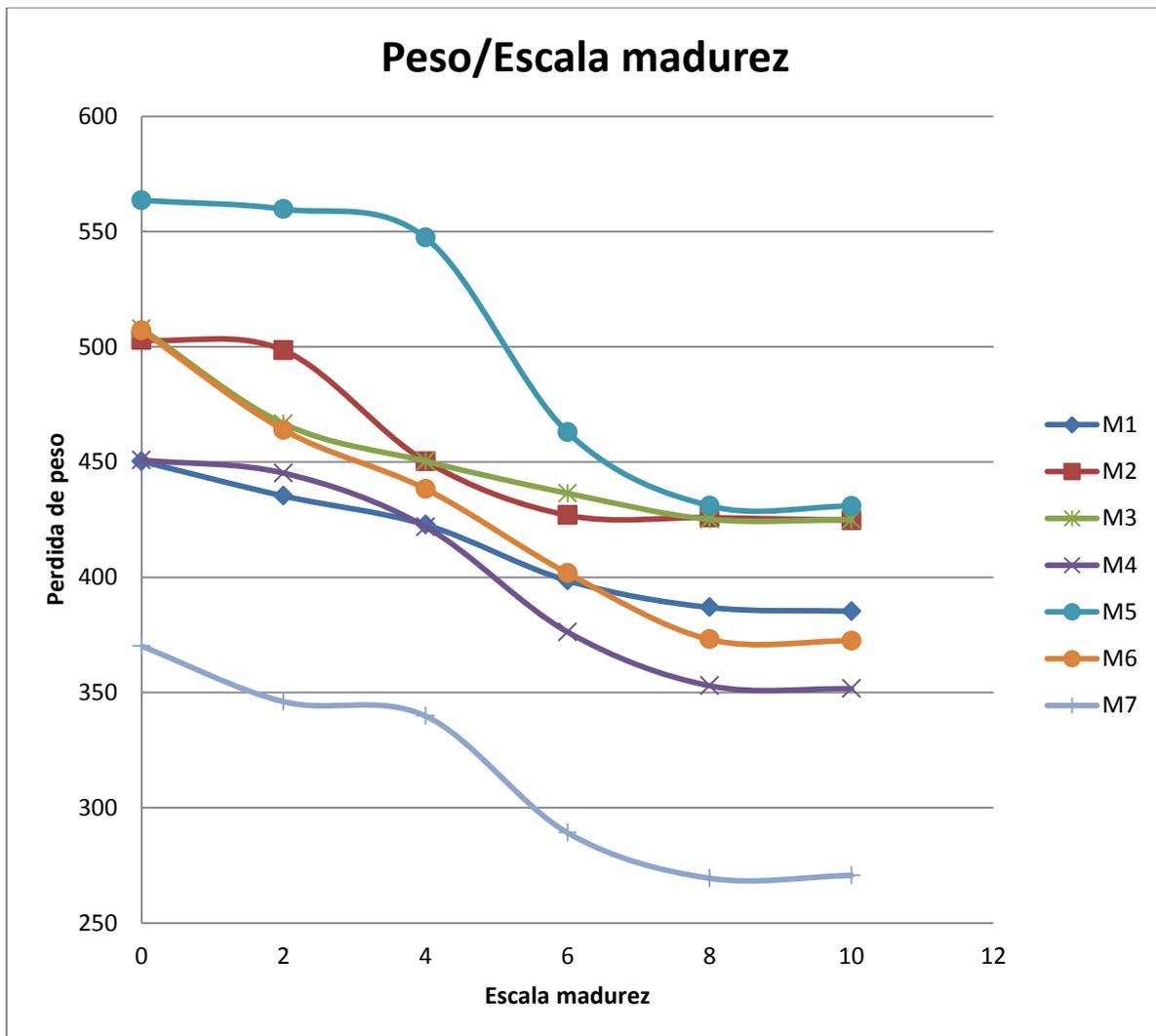
Soto, S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisíaca*). Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Bioquímica. Cochabamba, Bolivia.

Vieira, C., Cruz, A., Amante, E y Meller, L. (2013). Potencial nutricional de la harina de banana verde. Rev. Bras. Frutic. 35(4) ,1140-1146 doi 1590/S0100-29452013000400025

Zareifard M.R., Boissonneault V y Marcotte M. (2009). Bakery product characteristics as influenced by convection heat flux. Food Research International 42, 856-864.

ANEXOS

Anexo 1. Curva de deshidratación del banano en sus distintas escalas de madurez.



Anexo 2. Tabla de conversión a kilogramos fuerza para penetrómetro manual.

RANGO 0-5 Kg - Puntal de Penetración 8 mm (0.5 cm²)

Lectura en penetrómetro (g)	Presión ejercida (Kg/cm ²)
50	0,10
100	0,20
150	0,30
200	0,40
250	0,50
300	0,60
350	0,70
400	0,80
450	0,90
500	0,99
550	1,09
600	1,19
650	1,29
700	1,39
750	1,49
800	1,59
850	1,69
900	1,79
950	1,89
1000	1,99
1050	2,09
1100	2,19
1150	2,29
1200	2,39
1250	2,49
1300	2,59
1350	2,69
1400	2,79
1450	2,88
1500	2,98
1550	3,08
1600	3,18
1650	3,28
1700	3,38

Lectura en penetrómetro (g)	Presión ejercida (Kg/cm ²)
1750	3,48
1800	3,58
1850	3,68
1900	3,78
1950	3,88
2000	3,98
2050	4,08
2100	4,18
2150	4,28
2200	4,38
2250	4,48
2300	4,58
2350	4,68
2400	4,77
2450	4,87
2500	4,97
2550	5,07
2600	5,17
2650	5,27
2700	5,37
2750	5,47
2800	5,57
2850	5,67
2900	5,77
2950	5,87
3000	5,97
3050	6,07
3100	6,17
3150	6,27
3200	6,37
3250	6,47
3300	6,57
3350	6,66
3400	6,76

Lectura en penetrómetro (g)	Presión ejercida (Kg/cm ²)
3450	6,86
3500	6,96
3550	7,06
3600	7,16
3650	7,26
3700	7,36
3750	7,46
3800	7,56
3850	7,66
3900	7,76
3950	7,86
4000	7,96
4050	8,06
4100	8,16
4150	8,26
4200	8,36
4250	8,46
4300	8,55
4350	8,65
4400	8,75
4450	8,85
4500	8,95
4550	9,05
4600	9,15
4650	9,25
4700	9,35
4750	9,45
4800	9,55
4850	9,65
4900	9,75
4950	9,85
5000	9,95

Anexo 3. Encuestas de evaluación afectiva y discriminativa.

EVALUACIÓN AFECTIVA Y DISCRIMINATIVA			SEXO:	EDAD:
CATEGORIAS		CARACTERISTICAS	A1	A2
Me disgusta mucho	1			
Me disgusta	2		OLOR	
Indiferente	3		SABOR	
Me gusta	4		TEXTURA	
Me gusta mucho	5	APARIENCIA		

Responda las siguientes preguntas:

¿Sintió el sabor de banano en las muestras consumidas? SI () NO ()

¿Usted conoce lo que es la enfermedad celiaca? SI () NO ()

¿Conoce los beneficios de consumir fibra diariamente? SI () NO ()

¿Conoce los beneficios de consumir almidón resistente? SI () NO ()

Ordene las cualidades que considera importantes al momento de consumir un snack (Siendo 1 la más importante y 5 la de menor importancia)

- Precio _____
- Sabor _____
- Valor nutricional _____
- Innovación _____
- Peso neto _____

Anexo 4. Recepción de materia prima



Anexo 5. Pelado y rebanado



Anexos 6. Tratamiento ácido y escaldado



Anexos 7. Deshidratación



Anexo 8. Enfriado y pesado



Anexo 9. Molienda y tamizado



Anexo 10. Formulación y moldeado



Anexo 11. Horneado y enfriado



Anexo 12. Medición de color



Anexo 13. Medición de firmeza



Anexo 14. Medición de consistencia



Anexo 15. Medición de viscosidad



