



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO  
(*Musa paradisiaca L.*) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU  
CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL**

**Antonio José Melgar Gil**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO  
(*Musa paradisiaca L.*) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU  
CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ANTONIO JOSÉ MELGAR GIL**

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca L.*) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 16 de julio de 2015.

**Antonio José Melgar Gil**

Guatemala 16 de febrero de 2016

Ingeniero  
Carlos Wong  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong

Por este medio le envío mi dictamen de aprobación del informe final del trabajo de graduación titulado: **“Evaluación del Proceso de Producción de Harina de Plátano (*Musa paradisiaca* L.) Para la Preparación de Atol y su Caracterización Proximal y Sensorial”**. Trabajo que podrá continuar el proceso requerido por el estudiante universitario **ANTONIO JOSÉ MELGAR GIL** quien se identifica con carne No. 2008-19031, estudiante de la Carrera de Ingeniería Química y es asesorado por mi persona.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su fina atención a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,



Inga. Hilda Palma de Martini

Colegiada 453

Catedrática Universitaria

Tecnología de los Alimentos, Bioingeniería 1

Universidad de San Carlos de Guatemala

**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
**COLEGIADO No. 453**



Guatemala, 28 de abril de 2016.  
 Ref. EIQ.TG-IF.024.2016.

Ingeniero  
 Carlos Salvador Wong Davi  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **45-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por el estudiante universitario: **Antonio José Melgar Gil**.  
 Identificado con número de carné: **2008-19031**.  
 Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO ( *Musa paradisiaca* L.) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
 Ing. Otto Raúl De León De Paz  
 COORDINADOR DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.037.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ANTONIO JOSÉ MELGAR GIL** titulado: **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA L.*) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.298-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLATANO (*Musa paradisiaca* L.), PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Antonio José Melgar Gil**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, junio de 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Porque, gracias a su infinita bondad y sabiduría, se me ha concedido nacer rodeado de personas maravillosas que me han cuidado, amado y enseñado lo necesario para no perder mi camino de vuelta a su lado.

### **Mi familia**

Especialmente a mis padres, Débora Gil y Humberto Melgar, y a mis hermanos, Humberto, Julia y Manuel Melgar, por ser el centro y el pilar que sostiene mi vida, ustedes hicieron esto posible guiando siempre mis pasos por el camino correcto. Ahora comprendo que siempre puedo aspirar a ser una mejor persona mientras me esfuerce y aprecie las cosas más bellas y sencillas de la vida.

### **Mis amigos**

Ana Lucía Marchorro, Brenda González, Freddy Chang, Christian Domínguez, Luis Catalán y Luis Elias, porque ustedes marcaron de forma positiva los años que estudiamos juntos a lo largo de la carrera, con ustedes he compartido el esfuerzo que la vida universitaria exige y siempre estuvieron presentes para apoyarme, en los buenos y malos momentos.

**Ingeniero y amigo**

Omar Fernando Ordoñez Rivera, porque con tu ejemplo y tus acciones me has demostrado que lo imposible no existe.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por concederme vida, salud y las virtudes necesarias para superar las dificultades encontradas y llegar a estas instancias.
- Mis padres** Débora Gil y Humberto Melgar, porque su lucha y esfuerzo diario durante tanto tiempo es lo que hace que hoy todo esto sea posible, porque más que pertenecerme a mí, les pertenece a ustedes. Gracias por todo su amor y por enseñarme a apreciar lo bello de la vida.
- Mis hermanos** Humberto, Julia y Manuel Melgar, porque no podría haber pedido mejores compañeros de vida, ya que con ustedes he compartido mis más grandes alegrías y tristezas, sin su presencia esto no habría sido igual. Gracias por ser las personas más maravillosas que conozco.
- Mis abuelos** Teodolinda Pineda, Berta Jiménez, Oswaldo Gil y Adolfo Melgar (q. e. p. d.), porque son los mejores ejemplos de lo que algún día me gustaría llegar a ser. Gracias por todo el amor y los consejos que nos han brindado tanto a mis hermanos como a mí.

**Mi madrina**

Anabella Melgar, porque más que mi madrina, has sido como una segunda madre y todo el cariño que nos has dado siempre lo llevaré conmigo en lo más profundo del corazón. Gracias por estar siempre presente y pendiente.

**Mis tíos y tías**

Magdalena Gil, Claudia, Belarminda, Francisco, Adolfo y José Luis Melgar, porque son parte de lo mejor que me ha dado la vida. Gracias por todo el apoyo brindado a lo largo de los años.

**Mis primos**

A todos, porque ustedes son como mis hermanos y las alegrías que hemos compartido juntos no las he compartido con nadie más.

**Mis amigos**

Carmen Pérez, Ana Lucía Marchorro, Omar Ordoñez, Christian Domínguez, Luis Catalán, Luis Elias, Luisa Santos, Freddy Chang, Pedro Orozco, Edgar Barrera, Celeste Alvarado, Emperatriz Marroquín, Jhonatan Marin, Josué Navas y Leonel Hernández, porque de forma directa o indirecta todos forman parte de este logro. Gracias porque cada uno, a su manera y en sus posibilidades, me apoyó y ayudó en los momentos que más lo necesité. Especiales agradecimientos a mi amiga Brenda González, ya que con tu bella y amable sonrisa, sin olvidar mencionar tu maravillosa forma de ser, me diste la luz y la fuerza que necesitaba en los momentos en que más dudaba.

**Ingeniera Hilda  
Palma**

Porque tuve la dicha de recibir sus cursos y sé que las cosas que aprendí con usted las llevaré conmigo siempre. Gracias por sus enseñanzas, su asesoría y por el tiempo y esfuerzo empleado en la revisión de este documento.

**Ingeniero Otto Raúl  
de León**

Por el tiempo y esfuerzo dedicado a la revisión de este documento.

**Universidad de San  
Carlos de  
Guatemala,  
Facultad de  
Ingeniería y  
Escuela de  
Ingeniería Química**

Por brindarme todos los medios necesarios para mi formación profesional, es un orgullo recibirme en esta gran institución y ser parte de la comunidad sancarlista. Mi admiración más sincera para todo lo que la Universidad, la Facultad y la Escuela representan. Espero poder ser un digno embajador de todos los valores y conocimientos que he adquirido en el camino recorrido durante la formación académica.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Determinación del problema.....	3
1.3.1. Definición.....	3
1.3.2. Delimitación .....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> L.).....	5
2.1.1. Taxonomía.....	6
2.1.2. Descripción botánica .....	6
2.1.2.1. Planta .....	7
2.1.2.2. Hojas .....	7
2.1.2.3. Tallo.....	7
2.1.2.4. Flor .....	8
2.1.2.5. Fruto .....	8
2.1.3. Beneficios .....	8
2.1.4. Importancia de la planta .....	9

2.1.5.	Valor alimenticio .....	10
2.2.	Secado .....	11
2.2.1.	Proceso de secado.....	13
2.2.2.	Equipo de secado.....	14
2.3.	Molienda.....	15
2.3.1.	Equipo utilizado para la molienda.....	17
2.4.	Tamizado .....	18
2.5.	Análisis nutricional proximal .....	18
2.6.	Análisis sensorial para productos alimenticios .....	20
2.6.1.	Tipos de análisis.....	21
2.6.1.1.	Análisis descriptivo .....	21
2.6.1.2.	Análisis discriminativo .....	21
2.6.1.3.	Análisis del consumidor.....	21
2.6.2.	Conceptos generales del análisis sensorial.....	22
2.6.2.1.	El olor .....	22
2.6.2.2.	El aroma .....	22
2.6.2.3.	El gusto .....	23
2.6.2.4.	El sabor .....	23
2.6.2.5.	La textura .....	24
2.6.3.	Análisis al consumidor.....	24
2.6.3.1.	Pruebas orientadas al consumidor .....	24
2.6.3.2.	Instalaciones temporales para pruebas sensoriales .....	25
2.6.3.3.	Área de preparación de alimentos.....	25
2.6.3.4.	Área de panel .....	26
2.6.3.5.	Área de oficina .....	26
2.6.3.6.	Utensilios y equipos para las pruebas sensoriales .....	26
2.6.3.7.	Recipientes para las muestras .....	27

2.6.3.8.	Establecimiento de los paneles sensoriales.....	27
2.6.3.9.	Orientación a los panelistas.....	27
2.6.3.10.	Selección inicial de los panelistas.....	28
2.6.3.11.	Prueba de reconocimiento de sabores básicos.....	28
2.6.3.12.	Prueba de reconocimiento de olores básicos .....	29
2.6.3.13.	Pruebas de aceptabilidad .....	31
2.6.3.14.	Pruebas hedónicas .....	32
2.6.3.15.	Pruebas de preferencia .....	34
3.	METODOLOGÍA.....	37
3.1.	Variables.....	37
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	38
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	39
3.4.	Recursos materiales disponibles .....	39
3.4.1.	Materia prima.....	39
3.4.2.	Cristalería y equipo.....	39
3.5.	Técnica cuantitativa.....	40
3.5.1.	Selección y preparación del plátano .....	41
3.5.2.	Secado del plátano .....	41
3.5.3.	Molienda y tamizado del material seco.....	41
3.5.4.	Análisis químico proximal a la harina de plátano ....	42
3.5.5.	Preparación de atol y evaluación sensorial organoléptica .....	42
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	42
3.6.1.	Elección del diseño experimental .....	43
3.6.1.1.	Diseño de tratamientos.....	43



3.6.1.2.	Muestreo .....	44
3.7.	Tabulación y ordenamiento de la información.....	45
3.8.	Análisis estadístico.....	45
3.9.	Plan de análisis de los resultados .....	47
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	48
3.9.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	48
4.	RESULTADOS.....	49
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	61
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES .....	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	APÉNDICES.....	75
	ANEXOS.....	87

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fruto del plátano .....	5
2.	Diseño general del proyecto.....	40
3.	Peso de la muestra de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) con cáscara en función del tiempo .....	49
4.	Peso de la muestra de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) sin cáscara en función del tiempo .....	50
5.	Prueba de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) con cáscara.....	53
6.	Prueba de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) sin cáscara.....	54
7.	Diagrama de flujo de la preparación del atol de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ).....	56
8.	Diagrama de equipo de la línea de producción para la elaboración de harina de atol de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) .....	57

### TABLAS

I.	Valor nutricional de la pulpa de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) en 100 g de parte cruda comestible.....	11
II.	Sabor básico de sustancias y concentraciones.....	29
III.	Olor básico de sustancias .....	31
IV.	Clasificación de las variables operacionales del proceso.....	37

V.	Determinación de las variables independientes y dependientes del proceso de preparación de atol de plátano.....	38
VI.	Rendimiento de producción de harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) con y sin cáscara .....	51
VII.	Prueba de diferencia de medias del rendimiento de producción de harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) con y sin cáscara .....	51
VIII.	Análisis proximal de harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) en polvo.....	52
IX.	Análisis estadístico de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano ( <i>Musa paradisiaca L.</i> ) con y sin cáscara .....	55
X.	Simbología de equipos y servicios del diagrama de equipo de la línea de producción.....	58
XI.	Determinación del costo de equipos de la línea de producción de harina de atol para un lote de 65 kilogramos .....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>z</b>	Confiabilidad
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>E</b>	Error estimado
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Kcal</b>	Kilocaloría
<b>W<sub>f</sub></b>	Masa inicial de materia prima
<b>W<sub>o</sub></b>	Masa final de la harina
$\bar{x}$	Media aritmética de cada variable
<b>m</b>	Metro
<b>μg</b>	Microgramo
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>N</b>	Número de corridas
<b>n</b>	Número de datos por variable
<b>%R</b>	Porcentaje de rendimiento
<b>P</b>	Probabilidad de éxito
<b>q</b>	Probabilidad de fracaso
<b>Q</b>	Quetzal

<b><math>\Sigma</math></b>	Sumatoria
<b>x</b>	Valor de cada dato por variable
<b>S</b>	Valor de la desviación estándar
<b>Z</b>	Valor estadístico experimental o teórico
<b>%</b>	Valor porcentual
<b>V</b>	Voltio

## GLOSARIO

<b>Aceptabilidad</b>	Conjunto de características o condiciones que hacen que una cosa sea aceptable.
<b>Análisis nutricional</b>	Análisis que se realiza a los alimentos para conocer su composición. Se determina según su valor energético, que se expresa en calorías, y según la cantidad de nutrientes que lo componen.
<b>Análisis sensorial</b>	Análisis normalizado de los alimentos que se realiza con los sentidos.
<b>Atol</b>	Bebida hecha de harina, disuelta en agua o leche hervida, que puede prepararse de varias maneras y a la que pueden añadirse diversos ingredientes.
<b>Consumidor</b>	Persona que consume bienes y productos en una sociedad de mercado.
<b>Diagrama de flujo</b>	Representación esquemática de los distintos pasos de un proceso.
<b>Escala hedónica</b>	Método utilizado para medir preferencias. Se usa para estudiar a nivel de laboratorio la posible aceptación de un alimento.

<b>Harina</b>	Polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón.
<b>Mesh</b>	Número de orificios por pulgada lineal a partir del centro de un hilo.
<b>Mezcla</b>	Sistema material formado por dos o más componentes unidos, pero que no mantienen interacciones químicas.
<b>Proceso de producción</b>	Conjunto de operaciones necesarias para llevar a cabo la producción de un bien o servicio, que ocurren de forma planificada, y producen un cambio o transformación de materiales, objetos o sistemas.
<b>Prueba de aceptación</b>	Prueba que se realiza dentro del análisis sensorial, en la cual se les pide a los panelistas que ordenen las muestras codificadas con base en su aceptabilidad.
<b>Tamiz</b>	Utensilio que sirve para separar las partes finas de las gruesas de algunas cosas y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el proceso de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) y elaborar atol a base de esta. Para lograr esto, el plátano se secó en un secador de bandejas de flujo transversal, a una temperatura de 70 °C. Este procedimiento se realizó por lotes, secando plátano con cáscara y plátano sin cáscara. Posteriormente, el material deshidratado se trituró, tamizó y empacó en bolsas herméticas para su correcta conservación.

Con esto se logró determinar la curva de secado de pérdida de peso en función del tiempo, observándose que el peso disminuye conforme transcurre el tiempo. De igual forma, se determinó el rendimiento de producción de la harina de plátano. Para el material deshidratado con cáscara, el valor del rendimiento fue de 28,49 % y para el plátano deshidratado sin cáscara, el valor fue 24,27 %.

Posteriormente, se procedió a evaluar el contenido nutricional de la harina de plátano a través de un análisis químico proximal, obteniendo como resultados que este grupo de harinas posee alto contenido de nutrientes constituidos principalmente por grupos de carbohidratos digeribles, así como vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados. Además, los resultados revelaron bajos porcentajes de fibra, grasa y proteína.

Después de fabricada y caracterizada la harina de plátano, se formuló la mezcla con la que se elaboró el atol y se procedió a realizar la prueba de aceptabilidad, para la cual se utilizó la escala hedónica de nueve puntos dirigida a jueces consumidores. Los resultados de dicho análisis demuestran que el atol



elaborado con harina sin cáscara tiene un mayor nivel de aceptabilidad entre los consumidores, ya que estos calificaron de mejor forma las características organolépticas del producto.

Para finalizar la investigación, se realizó el diagrama de flujo del proceso utilizado para la fabricación del atol y el diseño de la línea de producción para fabricar dicha harina.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar el proceso de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) y su caracterización proximal y sensorial para la preparación de atol a partir de la harina obtenida.

### Específicos

1. Elaborar la gráfica de secado de peso del plátano en función del tiempo, durante el período de secado.
2. Evaluar el rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en polvo, con y sin cáscara.
3. Determinar el contenido nutricional de la harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en polvo mediante un análisis químico proximal.
4. Realizar una evaluación sensorial al atol de plátano (*Musa paradisiaca L.*) preparado con la harina obtenida por medio de una prueba hedónica de nueve puntos, evaluando como características sabor, color, olor y textura.
5. Establecer el diagrama de flujo para la producción del atol.

6. Diseñar el diagrama de equipo de la línea de producción para la elaboración de harina de atol de plátano (*Musa paradisiaca L.*).

## INTRODUCCIÓN

En Guatemala los recursos naturales son variados y, debido a la posición geográfica del país, se posibilita el cultivo de una gran gama de productos alimenticios que forman parte de la economía y de la cultura nacional. Tomando en cuenta este beneficio y utilizando las distintas técnicas de investigación y el conocimiento adecuado, se puede desarrollar una gran variedad de nuevos productos.

Cabe mencionar que con el paso de los años y debido a las tendencias alimentarias cambiantes, los métodos de producción varían, al igual que los métodos de producción. Por lo tanto, las investigaciones no solo se enfocan en productos típicos, sino que se busca encontrar alternativas para productos convencionales que aporten cantidades nutricionales similares o mejores a los productos comunes. Para esto se utilizan productos no tradicionales como alternativa para un manejo sustentable de los recursos naturales de Guatemala y con ello lograr un aporte a la economía local y el desarrollo del país.

Debido a la riqueza de nutrientes que posee el plátano, se pretende evaluar el proceso de obtención de atol proveniente del mismo, al cual se le realizará un análisis químico proximal con el fin de establecer su contenido nutricional. También se le realizará un análisis sensorial, para determinar la aceptabilidad del producto entre los consumidores.



# 1. MARCO CONCEPTUAL

## 1.1. Antecedentes

Los trabajos de investigación realizados en la Universidad de San Carlos de Guatemala enfocados en el estudio del plátano (*Musa paradisiaca L.*) no han tratado sobre la producción de harina para atol a partir de este material, aunque sí es de suma importancia mencionar el hecho de que algunos de estos trabajos aportan información importante a esta investigación. Como ejemplo de esto se pueden mencionar:

- En 1979, el investigador Luis Alfonso Aguilar Castillo, realizó el trabajo de graduación denominado: *Estudio de las características de deshidratación de dos variedades de plátano.*

Esta investigación consistió en la evaluación del rendimiento del secado del plátano con y sin cascara por unidad de dicho material. Se trabajó a 3 diferentes temperaturas (60, 70 y 80 °C) con 2 diferentes variedades de plátano, sureña y cayuga, hasta medición de peso constante después de un determinado tiempo de secado por cada temperatura utilizada.

Los resultados obtenidos de esta investigación reflejan que la temperatura de trabajo recomendada es de 70 °C, que el tiempo de secado del material varía entre 200 y 260 minutos, dependiendo de la variedad de plátano utilizada, y que la humedad final de cada muestra independientemente del tipo y la temperatura es de 15 % al secar hasta peso constante.

- En agosto de 2005, la investigadora Luz del Carmen Santiago Roldán realizó el trabajo de graduación denominado: *Valor nutritivo de harina de banano verde*.

Dicho trabajo de investigación se basó en la obtención de harina de banano verde cosechado en distintas épocas, para establecer la importancia de su uso y diversificación en el consumo humano. Los resultados obtenidos reflejan rendimiento promedio obtenido de 33,33 %, el cual se determinó después del proceso de secado del material. En cuanto a los resultados de contenido de nutrientes de la harina de banano verde resalta su alto contenido de energía, carbohidratos y potasio, existiendo mucha similitud en los datos obtenidos, tanto para la época lluviosa como la época seca, con excepción de la vitamina A, ya que en la época seca la harina de banano verde presenta el doble de contenido respecto a la de la época lluviosa.

## **1.2. Justificación**

En Guatemala el plátano se siembra a lo largo de todo el territorio nacional, aunque en mayor medida en los departamentos de Escuintla, San Marcos, Suchitepéquez e Izabal. El plátano sembrado en el país es destinado tanto a importación como para uso local. El uso principal que se le da a este producto es el del consumo directo en los hogares de las personas y se ha comercializado en productos como las frituras obtenidas a base de este.

Es importante mencionar que en el país los estudios referentes al plátano (*Musa paradisiaca L.*) están enfocados, en su mayoría, a la descripción agronómica, taxonómica y botánica de dicha planta, así como sucede con la mayoría de especies que se producen en el territorio nacional. Sabiendo esto, el

presente trabajo surge con la intención de obtener atol a base de la harina de plátano y proveer una alternativa de alimentación y de industrialización a partir de este fruto, generando una forma de explotación de dicha planta. De igual manera, se pretende establecer la aceptabilidad de dicho producto con base en una prueba hedónica dirigida a jueces consumidores.

### **1.3. Determinación del problema**

Se pretende determinar la posibilidad de la realización de atol de plátano usando harina de dicha materia prima y su aceptación por medio de un análisis sensorial, esto debido a que el plátano es una fruta climatérica que al madurar debe usarse de inmediato para evitar pérdidas.

#### **1.3.1. Definición**

Se secará el plátano con el fin de obtener harina, con esto se podrá evaluar el rendimiento de producción. Se evaluará el valor nutricional y la calidad de dicha harina por medio de un análisis proximal. Para terminar, se determinará la aceptación del atol a través de una prueba hedónica de nueve puntos dirigida a consumidores, los cuales evaluarán sabor, color, olor y textura. Igualmente, se realizará la estimación y diseño de la línea de producción.

#### **1.3.2. Delimitación**

Al ser un producto que se siembra en todo el territorio nacional, la materia prima se obtendrá en la costa sur de Guatemala, siendo el principal aspecto limitante de la investigación, ya que esta se realizará con una sola especie de plátano.





## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Plátano (*Musa paradisiaca L.*)

El plátano es originario de las regiones tropicales húmedas del sudeste de Asia. Pertenece a la familia de las musáceas. El plátano es un fruto que se produce y consume principalmente en los países en vía de desarrollo. En el comercio internacional solo se comercializa el 1 % de la producción mundial. Estados Unidos y la Unión Europea son los principales importadores de plátano fresco.

Figura 1. Fruto del plátano



Fuente: *Curiosidades del plátano*. <https://gustolatino.files.wordpress.com/2014/01/platano-verde.jpg>. Consulta: marzo de 2015.

### **2.1.1. Taxonomía**

Su nombre científico es *Musa paradisiaca* L., se encuentra en la familia de las musáceas. El sistema APG III asigna a las musáceas zingiberales, parte de las plantas con flores monocotiledóneas. Algunas fuentes afirman que *Musa* es el nombre de Antonius Musa, médico del emperador Augusto. La palabra plátano generalmente se dice que se deriva de la palabra wolof *banaana*. Unas 70 especies de *Musa* fueron reconocidas por la Lista Mundial de Familias de Plantas seleccionadas a partir de enero de 2013; la mayoría se producen por sus frutos comestibles, mientras que otras se cultivan como plantas ornamentales.

### **2.1.2. Descripción botánica**

El plátano es un híbrido triploide de *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. Sus frutos constituyen fuente importante de alimentación en el sur de la India, en algunas partes de África Central y Oriental y en la América Tropical. El tipo más importante es el *horn plantain* (AAB), posee frutos grandes y racimos medianos con regular cantidad de dedos. El tipo *french plantain* o plátano dominico (AAB) y los clones conocidos como guineas (ABB) se cultivan mucho en América Latina, este último se consume cocido, ya sea verde como merienda o maduro como postre.

El cultivo del plátano abarca rangos extremos de tolerancia desde condiciones del bosque húmedo templado (12-18 °C; 1 000-1 200 milímetros de precipitación), hasta condiciones del bosque muy seco tropical (más de 24 °C; 4 000-8 000 milímetros de precipitación). Es cultivado en África, India, Centro y Sur América, con condiciones de temperatura ideal entre 25-30 °C, la mínima no debe ser inferior a los 15 °C, ni la máxima superior a 35 °C.

### **2.1.2.1. Planta**

Herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3,5-7,5 m de altura, terminado en una corona de hojas.

### **2.1.2.2. Hojas**

Muy grandes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta de medio metro de ancho, con un pecíolo de 1 m o más de longitud y limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el pecíolo, un poco ondulado y glabro. Cuando son viejas, se rompen fácilmente de forma transversal por el azote del viento. De la corona de hojas sale, durante la floración, un escapo pubescente de 5-6 cm de diámetro, terminado por un racimo colgante de 1-2 m de largo. Este lleva una veintena de brácteas ovales alargadas, cubiertas de un polvillo blanco harinoso; de las axilas de las brácteas nacen a su vez las flores.

### **2.1.2.3. Tallo**

El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas; estas se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia, al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo.

#### **2.1.2.4. Flor**

Flores amarillentas, irregulares y con seis estambres, de los cuales uno es estéril. El conjunto de la inflorescencia constituye el régimen de la platanera. Cada grupo de flores reunidas en cada bráctea forma una reunión de frutos llamada mano, que contiene de 3 a 20 frutos.

#### **2.1.2.5. Fruto**

Oblongo; durante el desarrollo del fruto estos se doblan geotrópicamente, según el peso de este, haciendo que el pedúnculo se doble. Esta reacción determina la forma del racimo. Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 frutos. Se comercializa en fresco y, en menor escala, deshidratado y en harina. Dentro de las especies cultivadas en Latinoamérica, el plátano es de las más utilizadas en alimentación humana.

#### **2.1.3. Beneficios**

En Guatemala, además del valor nutritivo, contribuye a la dieta básica de la población. Se pueden obtener cosechas continuas que aseguran 2 200 empleos permanentes y un flujo de ingresos constantes al productor. Además de ser una de las frutas más sabrosas y nutritivas, también es una de las más sanas, ya que es rica en fibra y muy energética.

También es rica en vitaminas, ácido fólico y minerales, como el magnesio y el potasio. Su riqueza en potasio hace que sea más que recomendable para aquellas personas que padecen hipertensión o enfermedades cardiovasculares. Un solo plátano aporta casi la cuarta parte de la dosis diaria de vitamina C recomendada para un niño.

Las personas que están a dieta suelen evitar el plátano porque creen que es una fruta que engorda, pero con tan solo 100 calorías es una de los alimentos con más valor nutricional. Además, tiene la propiedad de ser muy saciante, con lo que quita el apetito rápidamente. Para comerlo en crudo es conveniente que el plátano esté maduro, de lo contrario su fécula todavía no se habrá convertido en azúcar y resultará muy indigesto. Ya maduro, se convierte en un alimento de fácil digestión, con mucha fibra soluble. Por lo tanto, es adecuado para el tratamiento de estreñimiento cuando está maduro y contra la diarrea cuando aún está verde. Además, tiene poco sodio y nada de colesterol.

#### **2.1.4. Importancia de la planta**

La producción de plátano constituye un rubro de importancia económica para Guatemala, como generador masivo de empleo, y en materia de exportación, como generador de divisas. La producción proviene especialmente de compañías agroexportadoras ubicadas en Izabal y la Costa Sur. Además de que pequeñas unidades productoras abastecen el mercado local para consumo interno y centroamericano. Las perspectivas del mercado externo, principalmente el norteamericano, son alentadoras a corto y a mediano plazo. A partir de 1998, cuando el huracán Mitch devastó las zonas bananeras y plataneras de Honduras, Nicaragua y Guatemala, la producción y la tendencia a la siembra de plátano se incrementó en el país.

Los precios en el mercado internacional se han mantenido entre los rangos de \$ 10,00 a \$ 14,00 por caja de 50 libras. La producción proveniente de explotaciones no agroexportadoras, dirigen la producción al mercado nacional y centroamericano, cuyo comportamiento ha sido sostenible. En el mercado interno, el plátano se comercializa por volumen, siendo su medida el bulto,

constituido por 10 docenas. El precio por bulto oscila entre Q 45,00 y Q 50,00, llegando al consumidor final a un precio de Q 10,00 a Q 12,00 la docena.

#### **2.1.5. Valor alimenticio**

Es lamentable que esta fruta sea considerada, de manera equivocada, como un alimento calórico y prohibido sin razón en muchas dietas. Muy lejos de eso, el plátano no engorda, ya que es un alimento con un aporte calórico bajo, solo unas 80 Kcal aproximadamente cada 100 gramos.

Gracias a su alto contenido en fibra soluble posee un efecto saciante, por lo cual es apta para consumirla tanto en una alimentación sana y equilibrada, como en dietas hipocalóricas adecuadas. Es importante mencionar también que el plátano tiene una cantidad de potasio de al menos 370 miligramos, más del 20 por ciento de su valor diario necesario, una gran cantidad de este mineral esencial.

Tabla I. **Valor nutricional de la pulpa de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en 100 g de parte cruda comestible**

Agua	75.3 g	Fósforo	14.00 mg
Proteína	1.06 g	Tiamina	0.05 mg
Grasa	0.27 g	Riboflavina	0.07 mg
Carbohidratos	20.80 g	Niacina	0.98 mg
Fibra	2.55 g	Piridoxina	0.36 mg
Calcio	7.30 mg	Ácido fólico	20 µg
Sodio	1.00 mg	Vitamina A	38 mg
Hierro	0.59 mg	Vitamina C	11.50 mg
Potasio	370 mg	Ácido ascórbico	11.50 mg
Yodo	2.40 mg	Carotenoides	227.94 µg
Magnesio	36.40 mg	Valor energético	80 Kcal
Zinc	0.21 mg		

Fuente: *Calorías en plátano, frutas frescas*. <http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/frutas/frutas-frescas/platano.html>. Consulta: marzo de 2015.

## 2.2. Secado

El secado se usa para preservar los alimentos, además de buscar una disminución de peso y volumen del mismo. Disminuciones que pueden resultar en ahorros en el costo del transporte y de los envases, sin embargo, esto no ocurre siempre. Algunos procesos de secado se escogen para conservar el tamaño y la forma del alimento original (la liofilización de piezas grandes de alimento es uno de ellos). Un tercer motivo de la deshidratación es la producción de artículos convenientes (café instantáneo o puré de frijol instantáneo).



Los organismos que contaminan los alimentos no se pueden desarrollar en ausencia de humedad; de ahí que el secado o deshidratado sea un método de conservar los alimentos. Este es uno de los métodos más antiguos de conservación y se ha practicado durante siglos en la forma más sencilla: exponiendo el alimento al sol y al viento. Los métodos modernos de deshidratado implican los mismos principios pero las condiciones se controlan cuidadosamente.

De las frutas puede hacerse una gran variedad de productos. Las frutas enteras sin semillas pueden ser deshidratadas, como las cerezas o uvas. La facilidad de extraer las semillas determinará si el deshidratado de la fruta es factible. Frutas más grandes deben partirse por mitad, rodajarse, picarse o cuartearse. La naturaleza de la fruta determinará qué forma es preferible para el deshidratado. Los problemas en la deshidratación de la fruta están relacionados con los cambios que la fruta sufre durante el procedimiento.

El deshidratado se lleva a cabo mediante la evaporación de agua de la superficie de la fruta. El rango al cual el agua puede difundirse hacia la superficie y el movimiento de los sólidos solubles en la fruta también determinará el tipo de producto. Si los sólidos no pueden difundirse de la superficie lo suficientemente rápido, pueden acumularse sobre la superficie y provocar que se forme una capa gomosa que es impermeable al agua, este estado es llamado endurecimiento de caja. La capa gomosa hace que sea muy difícil de rehidratar el producto. Para evitar este problema, deben tratarse diferentes tipos de deshidratado bajo una variedad de condiciones de humedad y temperatura.

Muchos procesos de deshidratación pueden requerir preparación concienzuda de la materia prima antes de ser deshidratada. Una organización o

individuo deben considerar la deshidratación como un proceso que puede combinar varios deshidratadores para obtener el producto deseado. Se debe recordar que los jugos deben tener sabor y olor fuertes, las frutas deben estar relativamente libres de grumos, fibras y semillas grandes, y que los vegetales deben seleccionarse basándose en la calidad del producto rehidratado.

### **2.2.1. Proceso de secado**

Los procesos de secado se pueden dar por lotes o en continuo. Cuando se trabaja por lotes, el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un período. En el proceso en continuo, el material es añadido sin interrupción y se obtiene material seco con régimen continuo. Puede ser muy sencillo o complejo según lo demande la sustancia a secar, se deben tomar en cuenta sus características para evaluar cuál será el método a utilizar.

Según las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua, los procesos de secado pueden clasificarse como sigue:

- Calor añadido por contacto directo con el aire caliente a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.
- Secado al vacío: el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación y la evaporación de agua se verifica con mayor rapidez a presiones bajas.
- Liofilización: el agua se sublima directamente del material congelado.

### **2.2.2. Equipo de secado**

El equipo de secado no se puede clasificar de manera sencilla, ya que algunos secaderos son continuos, otros operan por cargas; unos mantienen agitado el sólido y otros no; unos pueden operar a vacío. Hay secadores que pueden operar con cualquier tipo de material, mientras que otros son específicos para un sólido. Se pueden clasificar como secaderos directos, en los que el sólido se encuentra directamente expuesto a un gas caliente (generalmente aire) y secaderos indirectos, en los que el calor es transmitido al sólido desde un medio externo, como vapor de agua, generalmente a través de una superficie metálica con la que el sólido está en contacto.

El equipo a utilizar para secado se elige según las cualidades del producto a secar y también las características del producto final:

- Secador de bandejas: un típico secador de bandejas tiene bandejas para su carga y descarga en un gabinete. Sobre la bandeja de metal se esparce uniformemente el sólido en terrones o en forma de pasta de 10 a 100 milímetros de profundidad. Un ventilador recircula aire caliente sobre la superficie de las bandejas. También se utiliza calor eléctrico, principalmente cuando el calentamiento es bajo. Aproximadamente del 10 al 20 por ciento del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo y el resto es aire recirculado. Posterior al secado, se abre el gabinete y las bandejas se reemplazan por otras con más material por secar.
- Secador al vacío: se calienta indirectamente y son del tipo por lotes. El sistema es hermético, de tal manera que se pueda operar al vacío. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los

anaqueles. Para operaciones a temperaturas bajas, se usa circulación de agua en lugar de vapor para suministrar el calor que vaporiza la humedad.

- Secadores continuos de túnel: suelen ser compartimentos de carretillas que operan en serie. Las carretillas, que contienen las bandejas con el sólido a secar, se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo o una combinación de ambos. Los sólidos granulares húmedos se colocan formando una capa que tiene entre 25 y 150 milímetros de profundidad, sobre una bandeja de tamiz o perforada, a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente. En este tipo de secador hay un ventilador que extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera.
- Secador rotatorio: consta de un cilindro hueco que gira sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior y se desplazan por el cilindro a medida que este gira. El secado se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente. En algunos casos, el secado es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

### **2.3. Molienda**

Operación unitaria que se basa en la pulverización y dispersión del material sólido. A través de la molienda se reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Se debe tomar en cuenta que para tener un proceso de molienda eficiente hay ciertos factores en cuanto a características físicas del material, los cuales describen los efectos que tienen

las características de un sólido de tamaño de partícula pequeña. Estos factores se detallan a continuación:

- **Morfología del sólido:** generalmente los sólidos cristalinos son más duros y abrasivos, pero su fragmentación es más regular y dan fases salientes más homogéneas. Los amorfos dan fases heterogéneas y si son fibrosos o pegajosos traban los equipos.
- **Tamaño de la partícula en la entrada:** es importante que, al momento de entrar a molienda, el tamaño de los sólidos sea homogéneo para evitar pérdidas de energía, sobre todo en molienda de polvos finos. En general, moler sólidos grandes es más fácil que moler sólidos finos; los finos consumen mucha más energía por unidad de masa procesada.
- **Dureza y friabilidad:** un sólido duro consume más energía que uno friable al momento de la molienda, pero un friable presenta el inconveniente de pasarse del tamaño reducido deseable, se hace pequeño y acaba volviéndose fino, con derroche energético innecesario.
- **Higroscopicidad:** en la mayoría de casos, el que un sólido sea higroscópico afecta, ya que el sólido va perdiendo su tendencia a fluir. Cuando están exageradamente humedecidos, pueden formar lodos, siendo esto deseable bajo ciertas condiciones y otras veces no.
- **Termolabilidad:** dado el frotamiento que se presenta en la molienda hay mucha liberación de calor y este puede elevar la temperatura del sólido arriba de su índice de seguridad termolábil, arruinándolo. Incluso, si el molino no tiene un adecuado ventilador enchaquetado de enfriamiento y hay formación de chispas, algunos sólidos pueden explotar.

### **2.3.1. Equipo utilizado para la molienda**

Según las propiedades de cada alimento se elige la maquinaria utilizada para la molienda. Por lo tanto, el equipo más adecuado es el que no provoca la pérdida de sus propiedades. Algunos de estos equipos son los que se describen a continuación:

- Molino de discos: el sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos, los cuales tienen una convergencia radial, es decir que están más separados entre sí en el centro de rotación que en la periferia. Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles en rotación opuesta. Reciben generalmente partículas de 1 centímetro o menos y pueden producir hasta polvos de 200 mesh. Producen un polvo muy homogéneo y pueden llegar a reducir veinte veces el tamaño de entrada de la partícula.
- Molino de martillos: es el más versátil y el que tiene el más amplio rango de razón de reducción de tamaño, dado que puede trabajar como quebrantador primario para partículas gruesas hasta recibir partículas finas, de pocos milímetros, logrando reducciones hasta partículas muy finas o intermedias. Reduce hasta quince veces el tamaño de partícula de alimentación, se utiliza para sólidos no muy abrasivos y preferiblemente friables.
- Molino de rodillos: típicos de las industrias harineras, se trabajan en series de hasta 5 y 7 unidades sucesivas, cada cual más estrecha, logrando producir hasta un mesh 200. Estos molinos reciben partículas de tamaño

grano (10 a 1 milímetro) y las reducen hasta 4 veces el tamaño de alimentación.

#### **2.4. Tamizado**

En el tamizado se realiza una separación de tamaño o forma de uno o más sólidos. La separación mide la partícula y, al mismo tiempo, la separa acorde a su tamaño, por lo que se da una clasificación. Existen tamices planos, fijos o vibrantes, algunos con grandes cedazos cilíndricos que estando inclinados rotan y que en lugar de tener una pila de tamices de mayor a menor tienen una variedad de secciones en serie de diferente tamaño de apertura de malla (mesh). Por su simplicidad y versatilidad, el equipo generalmente utilizado para tamizado de harinas es el separador de tamices.

#### **2.5. Análisis nutricional proximal**

Es una descripción muy generalizada de los componentes nutricionales de un producto determinado y está basada en un trabajo que en 1865 realizó un grupo de especialistas de la estación experimental de Weende, Alemania. En ese tiempo era una herramienta simple y de fácil uso para medir la calidad de los alimentos y fue, por lo tanto, adoptada a nivel mundial para este propósito, pero muy especialmente por las agencias de control oficial como parámetro para registro y control de los alimentos. El análisis proximal consta de 6 fracciones:

- **Humedad:** es necesario controlar la humedad de un alimento preparado, ya que niveles superiores al 8 por ciento favorecen la presencia de insectos y arriba del 14 por ciento existe el riesgo de contaminación por hongos y bacterias. El método se basa en el secado de una muestra en un

horno y su determinación por diferencia de peso entre el material seco y húmedo.

- Proteína cruda: las proteínas son los nutrientes más importantes en la dieta del ser humano; su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos proteicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. Para analizar el contenido de proteína total de una muestra se utiliza el método de Kjeldahl, este evalúa el contenido de nitrógeno orgánico total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio.
- Grasa (extracto de éter): incluye las sustancias que son insolubles en agua, pero solubles en éter o etanol, entre otros. Entre estas sustancias se encuentran: grasas, glicolípidos, fosfolípidos, terpenos, esteroides, aceites y ceras esenciales.
- Fibra cruda: este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación indica la cantidad de fibra presente.
- Cenizas: se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.
- Extracto libre de nitrógeno: en este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente, constituido principalmente por carbohidratos digeribles, así como vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados;



debido a que se obtiene como la resultante de restar a 100 los porcentos calculados para cada nutriente.

Mientras la ciencia de la nutrición animal, la genética, tanto animal como vegetal, y la ingeniería hicieron un avance impresionante a través de los años, el sistema de análisis proximal se mantuvo invariable en todo el mundo y hasta ahora es utilizado por las entidades oficiales para controlar la calidad de los alimentos balanceados. En este punto, es sumamente importante señalar que este sistema de evaluación tiene como su mejor característica la de ser de fácil medición, pero de ninguna manera representa la eficiencia que un producto pueda tener a nivel de campo.

Los análisis comprendidos en este grupo, también conocido como análisis proximales Weende, se aplican en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Estos análisis indicarán el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra.

## **2.6. Análisis sensorial para productos alimenticios**

La evaluación sensorial se trata del análisis normalizado de los alimentos que se realiza con los sentidos. La evaluación sensorial se emplea en el control de calidad de ciertos productos alimenticios, en la comparación de un nuevo producto que sale al mercado, en la tecnología alimentaria cuando se intenta evaluar un nuevo producto, entre otros. Los resultados de los análisis afectan la publicidad y el empaqueo de los productos para que sean más atractivos a los consumidores.

## **2.6.1. Tipos de análisis**

Los tipos de análisis sensoriales que se utilizan para productos alimenticios son descriptivo, discriminativo y del consumidor.

### **2.6.1.1. Análisis descriptivo**

Es aquel grupo de tests en el que se realiza de forma discriminada una descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). Se entrena a los evaluadores durante seis a ocho sesiones en las que se intenta elaborar un conjunto de diez a quince adjetivos y nombres con los que se denominan a las sensaciones. Se suelen emplear unas diez personas por evaluación.

### **2.6.1.2. Análisis discriminativo**

Se emplea en la industria alimentaria para saber si hay diferencias entre dos productos, el entrenamiento de los evaluadores es más rápido que en el análisis descriptivo. Se emplean cerca de 30 personas. En algunos casos se llega a consultar a diferentes grupos étnicos: asiáticos, africanos, europeos, americanos, entre otros.

### **2.6.1.3. Análisis del consumidor**

Se suele denominar también test hedónico y se trata de evaluar si el producto agrada o no. En este caso trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontáneas posibles. Para obtener una respuesta estadística aceptable se hace una consulta entre medio centenar, pudiendo llegar a la centena.

El análisis sensorial ha demostrado ser un instrumento de suma eficacia para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento, ya que cuando ese alimento se quiere comercializar, debe cumplir los requisitos mínimos de higiene, inocuidad y calidad del producto, para que este sea aceptado por el consumidor. Cuando se desea estar protegido por una denominación de origen los requisitos son mayores, ya que debe poseer los atributos característicos que justifican su calificación como producto protegido, es decir que debe tener las características de identidad que le hacen ser reconocido por su nombre.

## **2.6.2. Conceptos generales del análisis sensorial**

Entre los conceptos generales del análisis sensorial es importante definir olor, aroma, gusto, sabor y la textura.

### **2.6.2.1. El olor**

Es la percepción, por medio de la nariz, de sustancias volátiles liberadas en los alimentos; dicha propiedad en la mayoría de las sustancias olorosas es diferente para cada una. En la evaluación de olor es muy importante que no haya contaminación de un olor con otro, por lo tanto, los alimentos que van a ser evaluados deberán mantenerse en recipientes herméticamente cerrados.

### **2.6.2.2. El aroma**

Consiste en la percepción de las sustancias olorosas y aromáticas de un alimento después de haberse puesto en la boca. Dichas sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, llegando a través del eustaquio a los centros sensores del olfato. El aroma es el principal componente del sabor de los alimentos, es por eso que cuando se padece de gripe o resfriado, el

aroma no es detectado y algunos alimentos sabrán a lo mismo. El uso y abuso del tabaco, drogas o alimentos picantes y muy condimentados, insensibilizan la boca y por ende la detección de aromas y sabores.

### **2.6.2.3. El gusto**

El gusto o sabor básico de un alimento puede ser ácido, dulce, salado, amargo, o bien puede haber una combinación de dos o más de estos. Esta propiedad es detectada por la lengua. Hay personas que pueden percibir con mucha agudeza un determinado gusto, pero para otros su percepción es pobre o nula; por lo tanto es necesario determinar qué sabores básicos puede detectar cada juez para participar en la prueba.

### **2.6.2.4. El sabor**

Esta propiedad de los alimentos es muy compleja, ya que combina tres propiedades: olor, aroma, y gusto; por lo tanto su medición y apreciación son más complejas que las de cada propiedad por separado. El sabor es lo que diferencia un alimento de otro, ya que si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido. En cambio, en cuanto se perciba el olor, se podrá decir de qué alimento se trata. El sabor es una propiedad química, ya que involucra la detección de estímulos disueltos en agua, aceite o saliva por las papilas gustativas, localizadas en la superficie de la lengua, así como en la mucosa del paladar y el área de la garganta.

### **2.6.2.5. La textura**

Es la propiedad de los alimentos apreciada por los sentidos del tacto, la vista y el oído; se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. La textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado; es decir, por medio del tacto se puede decir, por ejemplo, si el alimento está duro o blando al hacer presión sobre él. Al morderse una fruta, más atributos de textura empezarán a manifestarse como el crujido, detectado por el oído, y al masticarse, el contacto de la parte interna con las mejillas, así como con la lengua, las encías y el paladar, permitirá decir si presenta fibrosidad, granulosidad, entre otros.

### **2.6.3. Análisis al consumidor**

El análisis del consumidor consiste en el análisis de las necesidades, gustos, preferencias, deseos, hábitos de consumo, comportamientos de compra y demás características de los consumidores que conforman el mercado objetivo.

#### **2.6.3.1. Pruebas orientadas al consumidor**

En estas pruebas se selecciona una muestra aleatoria, compuesta de personas representativas de la población de posibles usuarios, con el fin de obtener información sobre las actitudes o preferencias de los consumidores. En las pruebas con consumidores no se emplean panelistas entrenados ni seleccionados por su agudeza sensorial; sin embargo, los panelistas deben ser usuarios del producto. Los resultados se utilizan para predecir actitudes de una población determinada.

Las entrevistas o pruebas pueden realizarse en un lugar central, como un mercado, una escuela, centro comercial o centro comunitario, o también en los hogares de los consumidores. En estas se registra el grado de satisfacción, el nivel de preferencia o la aceptabilidad de los productos.

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen: pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas (grado en que gusta un producto). Aunque a los panelistas se les puede pedir que indiquen directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad.

#### **2.6.3.2. Instalaciones temporales para pruebas sensoriales**

Cuando no se disponga de un área diseñada específicamente para pruebas sensoriales o cuando se lleven a cabo paneles con consumidores fuera de la instalación permanente, un área temporal podrá crearse para cumplir con los requisitos mínimos para llevar a cabo pruebas sensoriales.

#### **2.6.3.3. Área de preparación de alimentos**

En un laboratorio se pueden establecer instalaciones de cocina provisionales, utilizando hornillas y recipientes de *duroport* para mantener los alimentos calientes por períodos cortos.

#### **2.6.3.4. Área de panel**

La evaluación de las muestras se puede realizar en cualquier área separada en que puedan reducirse al mínimo las distracciones, los ruidos y los olores. Podría resultar adecuado el uso de un comedor o un salón donde se toma café, que no se esté utilizando al momento de llevarse a cabo la prueba sensorial. Es importante que en el lugar que se use no haya olores de comida o bebida al momento de la prueba, para brindar un cierto grado de privacidad a los panelistas.

#### **2.6.3.5. Área de oficina**

El encargado del panel necesitará espacio para preparar las boletas, planificar las pruebas sensoriales y analizar los datos. Deberá tener acceso a una calculadora con operaciones estadísticas.

#### **2.6.3.6. Utensilios y equipos para las pruebas sensoriales**

El área sensorial deberá estar equipada con utensilios para la preparación de alimentos y con recipientes pequeños para servir las muestras a los panelistas. Todos los utensilios deberán ser de materiales que no impartan olores o sabores a los alimentos que se están preparando o sometiendo a prueba. Será necesario contar con una pesa o balanza de precisión, pipetas, matraces graduados y vasos picudos de cristal de diferentes tamaños, para hacer mediciones precisas durante la preparación de los alimentos y el análisis de las muestras.

También serán necesarios termómetros y utensilios comunes de cocina como coladores y tamices, abrelatas, cuchillos, tenedores, cucharas, recipientes hondos, agarradores para cacerolas calientes y recipientes con tapadera para almacenamiento.

#### **2.6.3.7. Recipientes para las muestras**

Los recipientes para muestras deberán seleccionarse de acuerdo al tamaño y características de la muestra. El tamaño del recipiente variará de acuerdo con el tipo de producto que se esté analizando y con la cantidad de muestra a presentar. Es conveniente utilizar recipientes desechables de papel plástico o *duroport* de 30-60 ml (1-2 onzas) con tapadera.

#### **2.6.3.8. Establecimiento de los paneles sensoriales**

El instrumento de prueba para el análisis sensorial es el panel de personas reclutadas para realizar tareas específicas de evaluación sensorial. Por lo general, el reclutamiento de panelistas puede iniciarse con el personal que trabaja en la institución u organización en que se lleve a cabo la investigación. La mayoría de personas, que trabajan en una organización, son panelistas potenciales.

#### **2.6.3.9. Orientación a los panelistas**

Los individuos que participen solamente en los paneles internos de aceptabilidad (paneles no entrenados), no necesitan recibir entrenamiento adicional; sin embargo, resulta útil demostrar la forma en que la boletas deben ser marcadas utilizando un pizarrón.



La explicación del método y el procedimiento de prueba reducirá las posibilidades de confusión y facilitará el trabajo de los panelistas, ya que es importante que los panelistas comprendan los procedimientos y el uso de boletas, para que puedan completar la prueba en una forma similar. Se debe recomendar a los panelistas que eviten el uso de materiales que tengan olores fuertes, como jabones, lociones y perfumes, antes de participar en los paneles. Asimismo, deberán abstenerse de comer, beber o fumar por lo menos 30 minutos antes del inicio de una prueba sensorial.

#### **2.6.3.10. Selección inicial de los panelistas**

Los panelistas que acepten integrar los paneles entrenados deberán someterse a pruebas, para determinar si tienen agudeza sensorial normal. Esto puede realizarse al pedirles que en una prueba identifique sabores básicos y olores comunes.

#### **2.6.3.11. Prueba de reconocimiento de sabores básicos**

En las pruebas de reconocimiento se pueden utilizar las siguientes concentraciones de los cuatro sabores básicos: dulce, ácido, salado y amargo.

Tabla II. **Sabor básico de sustancias y concentraciones**

<b>Sabor básico</b>	<b>Sustancia</b>	<b>Concentración</b>
Dulce	Sacarosa	2,5g/250 mL
Salado	Cloruro de sodio	0,5g/250 mL
Ácido	Ácido cítrico	0,1g/250 mL
Amargo	Cafeína	0,003g/250 mL

Fuente: FORTIN, Jacinthe; DESPLANCKE, Catherine; AUBÉ, Claude; RONCALÉS, Pedro.

*Guía de selección y entrenamiento de un panel de catadores.* p. 80.

Estas soluciones se preparan con agua destilada. Se necesitan entre 25 a 30 ml de solución por panelista. Para su degustación, las soluciones son servidas en pequeños vasos codificados. Entre las 4 soluciones básicas se ponen al azar una a dos muestras que contengan agua.

Las muestras codificadas se deben presentar a cada panelista en órdenes aleatorios diferentes. Se debe instruir a los panelistas para que se enjuaguen la boca con agua entre una muestra y otra, y, si es necesario, pueden aclarar la boca comiendo galletas.

#### **2.6.3.12. Prueba de reconocimiento de olores básicos**

En esta prueba se pueden usar sustancias comunes de uso en el hogar. Las sustancias aromáticas se deben poner en frascos de vidrio oscuro o tubos de ensayo; los frascos transparentes se pueden envolver con papel de aluminio, para que no hayan indicaciones visuales de los materiales. Los frascos deben estar bien tapados.

Los materiales líquidos se pueden poner en una bola de algodón en el tubo y los sólidos se pueden poner directamente en el tubo, cubriéndolos con algodón. Los frascos o tubos se deben llenar hasta 1/4 o 1/2 de su capacidad, con el objeto de dejar espacio encima de la muestra, para que se concentren las sustancias volátiles.

Se instruye a los panelistas para que acerquen el frasco a la nariz, quiten la tapadera y husmeen brevemente 3 veces. A continuación, ellos deben registrar el nombre del olor o de un olor aproximado en caso de que no puedan identificar el nombre exacto, junto al código de muestra que aparece en la boleta.

Por ejemplo, pueden escribir condimentado en caso de que no puedan nombrar la especie exacta. Al interpretar los resultados, se debe dar la nota más alta al nombre correcto y la mitad de la nota un nombre que se relacione con el olor. A continuación se presenta una lista de sustancias que se han utilizado para prueba de olores.

Tabla III. **Olor básico de sustancias**

<b>Sustancia</b>	<b>Olores aproximados</b>
Vinagre agrio	Ácido acético encurtido
Café	Café tostadura
Cebolla	Cebolla sulfúreo
Clavo de especie	Clavo de especie especia
Canela	Canela, eugenol especia
Miel	Miel dulce
Pimienta negra	Pimienta picante
Mostaza preparada	Mostaza encurtidos
Centona	Acetona quita esmalte
Alcohol	Alcohol, etanol vodka

Fuente: FORTIN, Jacinthe; DESPLANCHE, Catherine; AUBÉ, Claude; RONCALÉS, Pedro. *Guía de selección y entrenamiento de un panel de catadores*. p. 88.

### **2.6.3.13. Pruebas de aceptabilidad**

Se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo).

- Descripción de la tarea de los panelistas: en esta prueba se les pide a los panelistas que ordenen las muestras codificadas, con base en su aceptabilidad, desde la menos aceptada hasta la más aceptada.
- Presentación de las muestras: tres o más muestras son presentadas en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de tres dígitos.

Cada muestra recibe un número diferente. Todas las muestras se presentan simultáneamente a cada panelista, en un orden aleatorio. El saborear las muestras más de una vez, sí es permitido en esta prueba.

#### **2.6.3.14. Pruebas hedónicas**

Las pruebas hedónicas están destinadas a medir cuánto agrada o desagrada un producto. Para estas pruebas se utilizan escalas categorizadas, que pueden tener diferente número de categorías y que comúnmente van desde "me gusta muchísimo", hasta "me disgusta muchísimo". Los panelistas indican el grado en que les agrada cada muestra, escogiendo la categoría apropiada.

- Descripción de la tarea de los panelistas: a los panelistas se les pide evaluar muestras codificadas de varios productos, indicando cuánto les agrada cada muestra, en una escala de 9 puntos. Para ello los panelistas marcan una categoría en la escala, que va desde "me gusta muchísimo" hasta "me disgusta muchísimo". En esta escala es permitido asignar la misma categoría a más de una muestra.
- Presentación de las muestras: las muestras se presentan en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Cada muestra deberá tener un código diferente. El orden de presentación de las muestras puede ser aleatorizado para cada panelista o, de ser posible, balanceado. En un orden de presentación balanceado, cada muestra se sirve en cada una de las posibles posiciones que puede ocupar (primera, segunda, tercera, entre otras) un número igual de veces.

Las muestras se pueden presentar todas al mismo tiempo o una a una; la presentación simultánea de las muestras es preferible, ya que es más fácil administrar y permite a los panelistas volver a evaluar las muestras si así lo desean y hacer comparaciones entre las muestras.

Para el análisis de los datos, las categorías se convierten en puntajes numéricos del 1 al 9, donde 1 representa "disgusta muchísimo" y 9 representa "gusta muchísimo". Los puntajes numéricos para cada muestra se tabulan y analizan utilizando análisis de varianza (Anova), para determinar si existen diferencias significativas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras. En el análisis de varianza (Anova), la varianza total se divide en varianza asignada a diferentes fuentes específicas. La varianza de las medias entre muestras se compara con la varianza dentro de la muestra (llamada también error experimental aleatorio).

Dado que la varianza total, dentro de las muestras, es resultado de combinar las varianzas individuales dentro de las muestras, un supuesto necesario es que las varianzas verdaderas, dentro de las muestras, son idénticas. Si las muestras no son diferentes, la varianza de las medias entre muestras será similar al error experimental. La varianza correspondiente a los panelistas o a otros efectos de agrupación en bloque puede también compararse con el error experimental aleatorio.

La medida de la varianza total para la prueba es la suma total de los cuadrados. La varianza medida, entre las medias de las muestras, es la suma de los cuadrados de los tratamientos. La medida de la varianza, entre las medias de panelistas, es la suma de los cuadrados de los panelistas. La suma de los cuadrados del error es la medida de la varianza debida al error experimental o aleatorio. Los cuadrados medios para el tratamiento, los

panelistas y el error, se calcula dividiendo cada SC entre sus respectivos grados de libertad. Una vez detectada una diferencia significativa, pueden hacerse pruebas de comparación múltiple, para determinar cuáles son las medias del tratamiento o de la población que difieren entre sí.

#### **2.6.3.15. Pruebas de preferencia**

Las pruebas de preferencia les permiten a los consumidores seleccionar entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra sobre otra o si no tienen preferencia.

- Descripción de la tarea de los panelistas: en esta prueba se les pregunta a los panelistas cuál de las dos muestras codificadas prefieren. Se les pide que seleccionen una; incluso, si ambas muestras les parecen idénticas.
- Presentación de las muestras: las dos muestras (A y B) se presentan en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Existen dos posibles órdenes de presentación de las muestras: primero A y luego B (AB) o primero B y luego A (BA). Las muestras deben presentarse en ambos órdenes el mismo número de veces. Si el panel estuviera integrado por 20 jueces, 10 debería recibir la muestra A primero y los otros 10, la muestra B primero.

Con paneles muy numerosos, el orden de cada panelista puede seleccionarse al azar, ya que hay 50 % de posibilidades de que cada panelista reciba primero la muestra A o la muestra B, ambos órdenes deben presentarse a un número de panelistas aproximadamente igual. Las muestras se presentan simultáneamente en el orden seleccionado para cada panelista, de manera que los panelistas puedan evaluar las muestras de izquierda a derecha.

En esta prueba se permite saborear la muestra varias veces, si es necesario. El orden en que los panelistas evaluarán las muestras debe indicarse en la boleta.





### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Variables

Partiendo de datos encontrados en la revisión de las referencias bibliográficas, se presentan las variables que influyen en el procedimiento experimental planteado, así como las variables que deben medirse para determinar las variables de respuestas de la presente investigación.

Tabla IV. **Clasificación de las variables operacionales del proceso**

Variable	Dimensional	Factor de diseño	
		Constantes	Variables
<b>Proceso de fabricación de la harina</b>			
Eliminación de cáscara de plátano	-		X
Deshidratado del plátano	-	X	
Molienda del material seco	-	X	
Tamizado	-	X	
<b>Caracterización de la harina por medio de análisis químico proximal</b>			
Proteína cruda	%	X	
Cenizas	%	X	
Fibra cruda	%	X	
Grasa	%	X	
Carbohidratos	%	X	
<b>Aceptabilidad por medio de paneles sensoriales</b>			
Muestra elegida por preferencia	-		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Determinación de las variables independientes y dependientes del proceso de preparación de atol de plátano**

Variable	Dimensional		Independiente	Dependiente
<b>Proceso de fabricación de la harina</b>				
Temperatura de secado	Celsius	°C	X	
Tiempo de secado	Minutos	min		X
<b>Caracterización de la harina por medio de análisis químico proximal</b>				
Humedad	Porcentaje	%		X
Proteína cruda	Porcentaje	%		X
Cenizas	Porcentaje	%		X
Fibra cruda	Porcentaje	%		X
Grasa	Porcentaje	%		X
Carbohidratos	Porcentaje	%		X
<b>Aceptabilidad por medio de paneles sensoriales</b>				
Muestra elegida por preferencia	-	-	X	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

- Campo de estudio: tecnología de alimentos.
- Área de investigación: creación de productos nuevos.
- Proceso: deshidratación de plátano, molienda y tamizado de la producción de harina en polvo para la preparación de atol.
- Ubicación: la realización del estudio en la parte del secado y de la molienda del plátano, para la obtención de la harina, se realizó en la

empresa Todo Terreno Milk Products, 17 avenida 46-79 zona 12, ciudad de Guatemala. El análisis químico proximal se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Clima: temperaturas que oscilan entre los 15-30 °C, según la época del año.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Antonio José Melgar Gil
- Asesora: Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

A continuación se enlistan todos los recursos utilizados en la investigación para el desarrollo del estudio.

#### **3.4.1. Materia prima**

- Plátano (*Musa paradisiaca* L.)
- Agua
- Azúcar

#### **3.4.2. Cristalería y equipo**

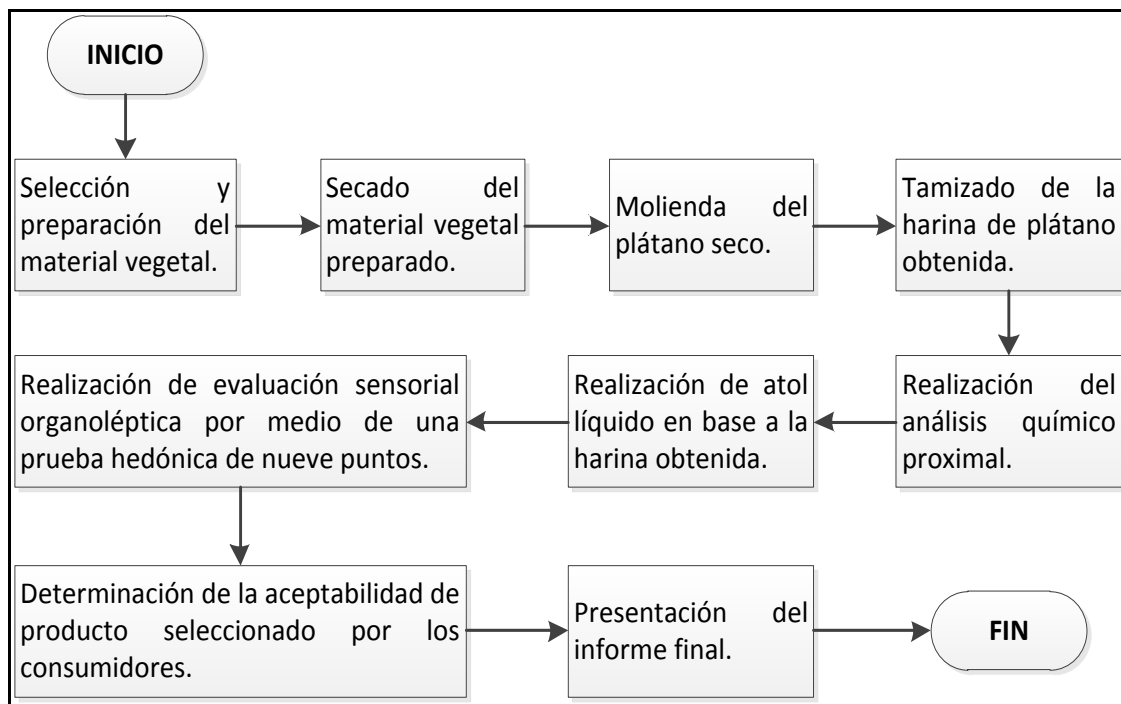
- Balanza marca Adventur, serie G1231202040133, voltaje 8-14,5 V, frecuencia 50/60 Hz. Máxima capacidad 150 g, lectura mínima 0,001 g. Hecha en USA.

- Balanza analizador de humedad marca Sartorius, modelo MA 150, 150 g máximos, rango de temperatura de 40 a 220 °C.
- Molino de cuchillas marca Zenith, voltaje 120 V, frecuencia 60 Hz.
- Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal marca Serproma.
- Cronómetro digital marca Casio.
- Tamiz de 100 y 200 mm.

### 3.5. Técnica cuantitativa

Se desarrolló una técnica cuantitativa dentro de la investigación que consistió en los siguientes pasos.

Figura 2. **Diseño general del proyecto**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

Los procedimientos se detallan a continuación

### **3.5.1. Selección y preparación del plátano**

Se seleccionó la materia vegetal que se encontraba sana. El material vegetal a utilizar debe estar libre de materia extraña que pueda afectar los resultados del experimento. La materia extraña está constituida por toda la materia prima que no es parte del plátano, como la suciedad. Para eliminar la materia extraña, el plátano se limpió por medio de inmersión en agua, se peló y se cortó en rodajas para su posterior secado.

### **3.5.2. Secado del plátano**

La materia prima fue secada con el fin de disminuir su contenido de agua y la actividad de los microorganismos presentes, desacelerando la descomposición. El proceso fue el siguiente:

- Se pesó el material que se introdujo en cada bandeja.
- Se introdujo el material que fue cortado en rodajas en las bandejas del secador eléctrico.
- Se colocó la temperatura del secador en 70 °C y se pesó el material en las bandejas cada hora aproximadamente, hasta que el peso del material se hizo constante.
- Se midió el peso final del plátano seco.

### **3.5.3. Molienda y tamizado del material seco**

- Se redujo el tamaño del material seco hasta que tuvo el aspecto de una harina convencional, esto se hizo mediante el molino de cuchillas.

- El tamizado se realizó mediante un tamiz de 100 y 200 mm.

#### **3.5.4. Análisis químico proximal a la harina de plátano**

Se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estos procedimientos se detallarán en la sección de anexos.

#### **3.5.5. Preparación de atol y evaluación sensorial organoléptica**

La harina obtenida se utilizó para la preparación de atol. Los ingredientes utilizados y sus respectivas cantidades fueron: 2,4 litros de agua, 96 gramos de harina de plátano y 112 gramos de azúcar, cociendo la mezcla durante 10 minutos al empezar a hervir. A dicho atol se le realizó un análisis sensorial por medio de pruebas sensoriales dirigidas a consumidores, esto se hizo por medio de una prueba hedónica de nueve puntos. Las características que se evaluaron en dicho análisis sensorial fueron sabor, color, olor y textura. Los datos obtenidos de dicho estudio se analizaron para determinar la aceptabilidad del producto.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

El estudio se enfoca principalmente en la elaboración de atol a partir del secado del plátano (*Musa paradisiaca L.*) en un secador de bandejas de flujo transversal. A la harina en polvo obtenida se le realizó un análisis químico proximal, con el fin de detallar el porcentaje de humedad, cenizas, grasa cruda, proteína cruda y fibra cruda. Para terminar, se realizó un análisis sensorial para determinar la aceptabilidad del atol.

Es importante mencionar que la recolección del plátano (*Musa paradisiaca* L.) se realizó en la costa sur del país. La parte del secado, molienda y tamizado se llevó a cabo, en su parte experimental, en de las instalaciones de la empresa Todo Terreno Milk Products, en la 17 avenida 46-79 zona 12 de la ciudad de Guatemala.

La determinación de las propiedades nutritivas de la harina se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de un análisis químico proximal.

### **3.6.1. Elección del diseño experimental**

Para la elección del diseño experimental, es necesario definir los tratamientos y el muestreo de la fase experimental.

#### **3.6.1.1. Diseño de tratamientos**

Los tratamientos que se utilizaron para cumplir con los objetivos son los que se plantean a continuación: el secado, molienda y tamizado del material vegetal se realizó sin hacer variación de condiciones, ya que en la bibliografía utilizada para la realización de esta investigación se recomienda utilizar una temperatura de 70 °C, hasta obtener un peso constante durante la etapa del secado y el tamizado con tamiz de 100 o 200 mm. La única variación se hizo con el material, ya que el secado y todo el proceso siguiente se realizó con y sin cáscara. Cabe recalcar que número de corridas realizadas para registrar los datos de la etapa de secado fueron tres.



Para las evaluaciones sensoriales, las cuales se realizaron por medio de una prueba hedónica de nueve puntos, se preparó atol de la harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*). Esta prueba se dirigió a un mínimo de treinta personas para que el estudio tuviera validez estadística.

Por lo tanto, el experimento fue factorial en la etapa de secado, realizando 3 repeticiones por tratamiento, resultando en un total de 6 mediciones totales y con esto se determinó el rendimiento de producción del atol. Mientras que, para el análisis de la prueba sensorial se realizaron 30 repeticiones, con un total de 60 mediciones totales en forma de encuestas a consumidores, para dar validez estadística a los datos.

### 3.6.1.2. Muestreo

Para la determinación del rendimiento de producción de la harina se necesitan resultados precisos, por lo que se trató de disminuir los posibles errores utilizando un número de corridas adecuado para la etapa del secado. Para conseguir lo anterior se utilizó una probabilidad de éxito del 90 % por lo que conjuntamente la probabilidad de fracaso será de un 10 %, con un nivel de significancia del 4 %.

$$N = \frac{z^2 Pq}{E^2} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde

z = confiabilidad

P = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso (1 -P)

E = error estimado

N = número de corridas

Para la realización de la investigación, se procederá a utilizar un error estimado del 35 %, con lo cual utilizando la ecuación anterior, se obtiene la cantidad de corridas a utilizar:

$$N = \frac{(1,96)^2 * 0,90 * 0,10}{(0,35)^2}$$

$$N = 2,8224 \approx 3$$

Con el dato obtenido anteriormente, se definió que la cantidad de corridas a realizar fue de 3.

### **3.7. Tabulación y ordenamiento de la información**

Para determinar el porcentaje de rendimiento de la producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{|W_f - W_0|}{W_0} * 100 \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde

$W_0$  = masa inicial de la materia prima, en gramos

$W_f$  = masa de la harina obtenida, en gramos

$\%R$  = porcentaje de rendimiento de la harina, en porcentaje

### **3.8. Análisis estadístico**

El promedio permitirá obtener un dato representativo para cada variable en cada medición, de esta forma se tomará en cuenta las posibles variaciones

aleatorias junto con la desviación estándar. El promedio de los datos obtenidos se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde

$\bar{x}$  = media aritmética de cada variable

$x$  = valor de cada dato por variable

$n$  = número de datos por variable

La desviación estándar ( $S$ ) permite cuantificar la dispersión de los valores para una misma medición respecto al valor promedio, lo cual representará el error aleatorio causado por diversos factores, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_n^i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde

$S$  = desviación estándar

$\bar{x}$  = media aritmética de cada variable

$x$  = valor de cada dato por variable

$n$  = número de datos por variable

Para determinar si las medias de los rendimientos son iguales, se realizará una prueba de diferencia de medias. Para esto se requieren dos muestras independientes, una de cada una de los datos de rendimiento.

Lo primero será establecer la hipótesis nula que será:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

La cual establece que las dos poblaciones tienen medias iguales. Por lo que la hipótesis alternativa sería:

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Al conocerse las desviaciones estándar de las poblaciones, el valor de prueba estadístico será:

$$Z_{exp} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Con dicho valor se procede a comparar con el valor teórico obtenido en tablas estadísticas. El criterio de evaluación será:

Si,

$Z_{exp} < Z_{teórico}$ , se acepta  $H_0$  y las medias son iguales.

$Z_{exp} > Z_{teórico}$ , se rechaza  $H_0$  y las medias difieren entre sí.

### **3.9. Plan de análisis de los resultados**

Este contempla los métodos y modelos de los datos según el tipo de variable y los programas que se utilizaron.

### **3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

Consiste en la presentación de los datos obtenidos en el laboratorio, así como el análisis de dichos resultados. Además, se presentaron los resultados de la prueba hedónica de aceptabilidad del producto.

### **3.9.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

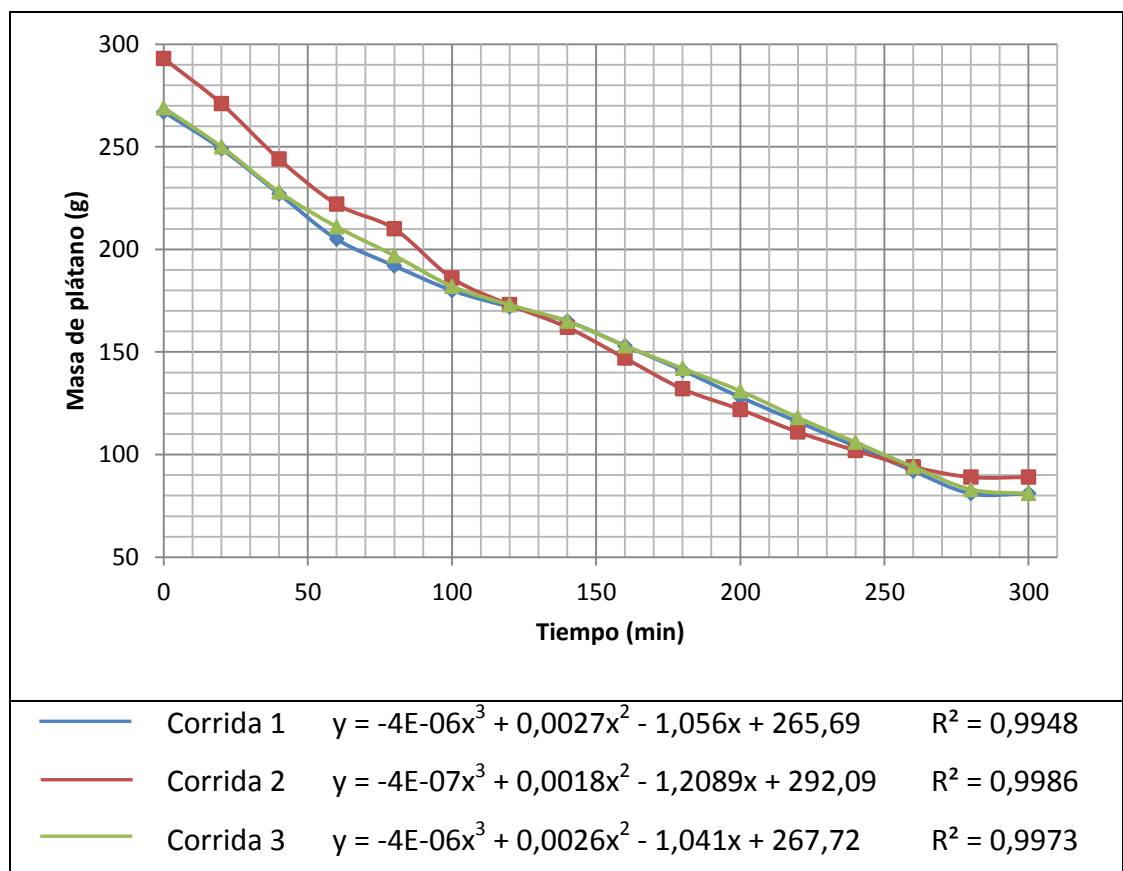
Para efectuar el análisis de datos, se utilizaron los siguientes programas:

- Microsoft Office Excel, 2010. Programa de análisis de datos.
- Microsoft Office Visio, 2010. Programa para realización de diagramas de flujo.

## 4. RESULTADOS

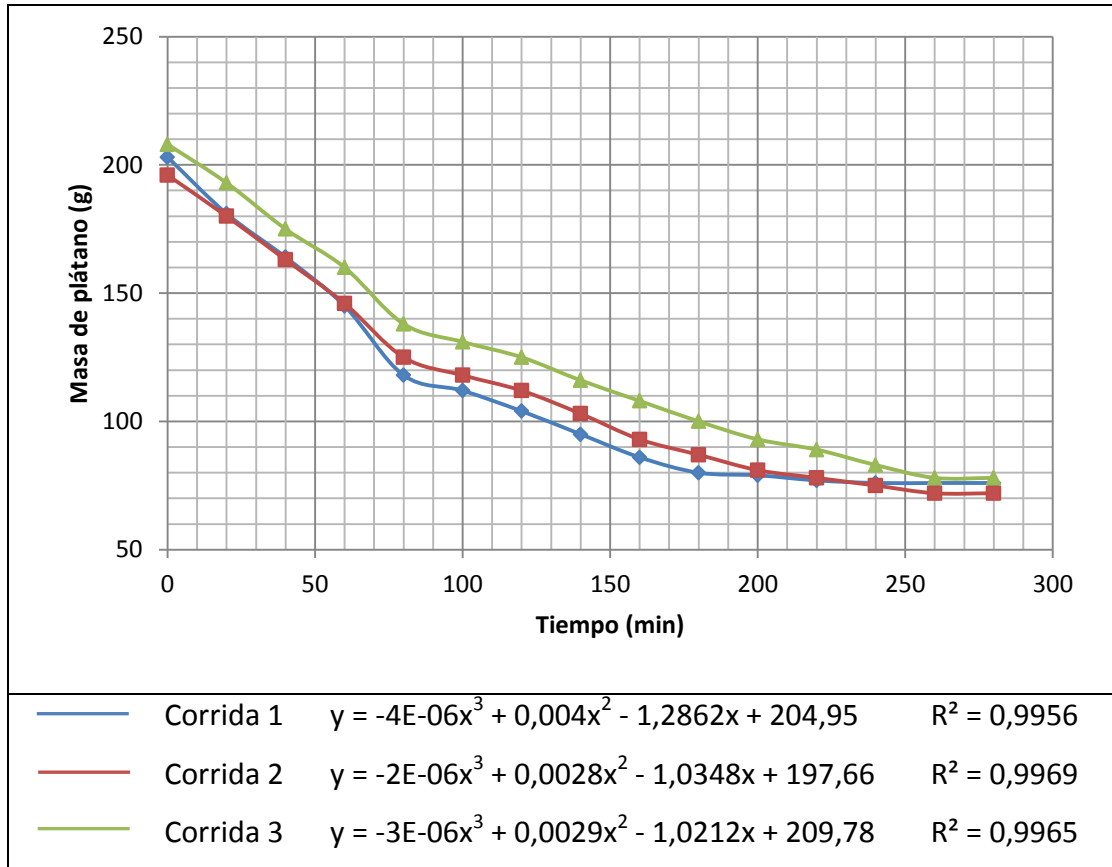
El objetivo fue elaborar la gráfica de secado de peso del plátano en función del tiempo durante el período de secado

Figura 3. **Peso de la muestra de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con cáscara en función del tiempo**



Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de secado, apéndice 3.

Figura 4. **Peso de la muestra de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sin cáscara en función del tiempo**



Fuente: elaboración propia, a partir de los datos de secado, apéndice 3.

El siguiente objetivo fue evaluar el rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en polvo, con y sin cáscara.

Tabla VI. **Rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con y sin cáscara**

<b>Especificación de la harina de plátano</b>	<b>Rendimiento promedio (%)</b>	<b>Desviación estándar (%)</b>
Con cáscara	28,49	± 0,15
Sin cáscara	24,27	± 0,09

Fuente: elaboración propia a partir del rendimiento de producción, apéndice 3.

Tabla VII. **Prueba de diferencia de medias del rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con y sin cáscara**

	<b>Valor de Z</b>	<b>Conclusión de hipótesis</b>
Z experimental	41,08	Con un nivel de confiabilidad del 95 % se concluye que las medias difieren entre sí y se rechaza la opción de $\mu_1 = \mu_2$ .
Z crítico	1,64	

Fuente: elaboración propia a partir del análisis estadístico, apéndice 3.



Luego, se evaluó el contenido nutricional de la harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en polvo, mediante un análisis químico proximal.

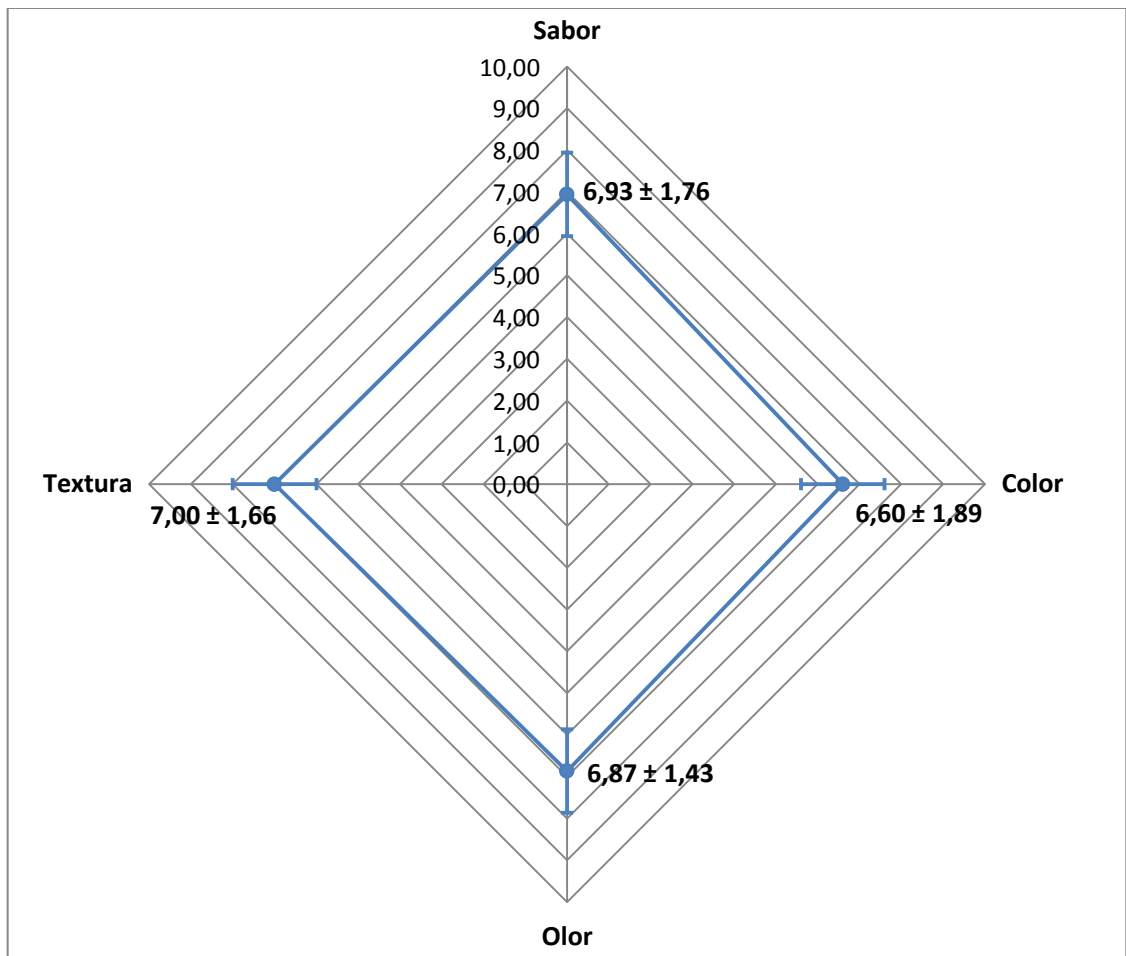
Tabla VIII. **Análisis proximal de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en polvo**

No.	Variable	Dimensional	Plátano con cáscara	Plátano sin cáscara
Análisis nutricional proximal				
1	Extracto libre de nitrógeno	%	89,58	92,11
2	Cenizas	%	3,77	3,07
3	Fibra cruda	%	1,47	0,68
4	Grasa	%	0,56	0,24
5	Proteína cruda	%	3,65	3,41
6	Humedad	%	9,29	10,06

Fuente: elaboración propia, a partir de hoja de análisis realizado en Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

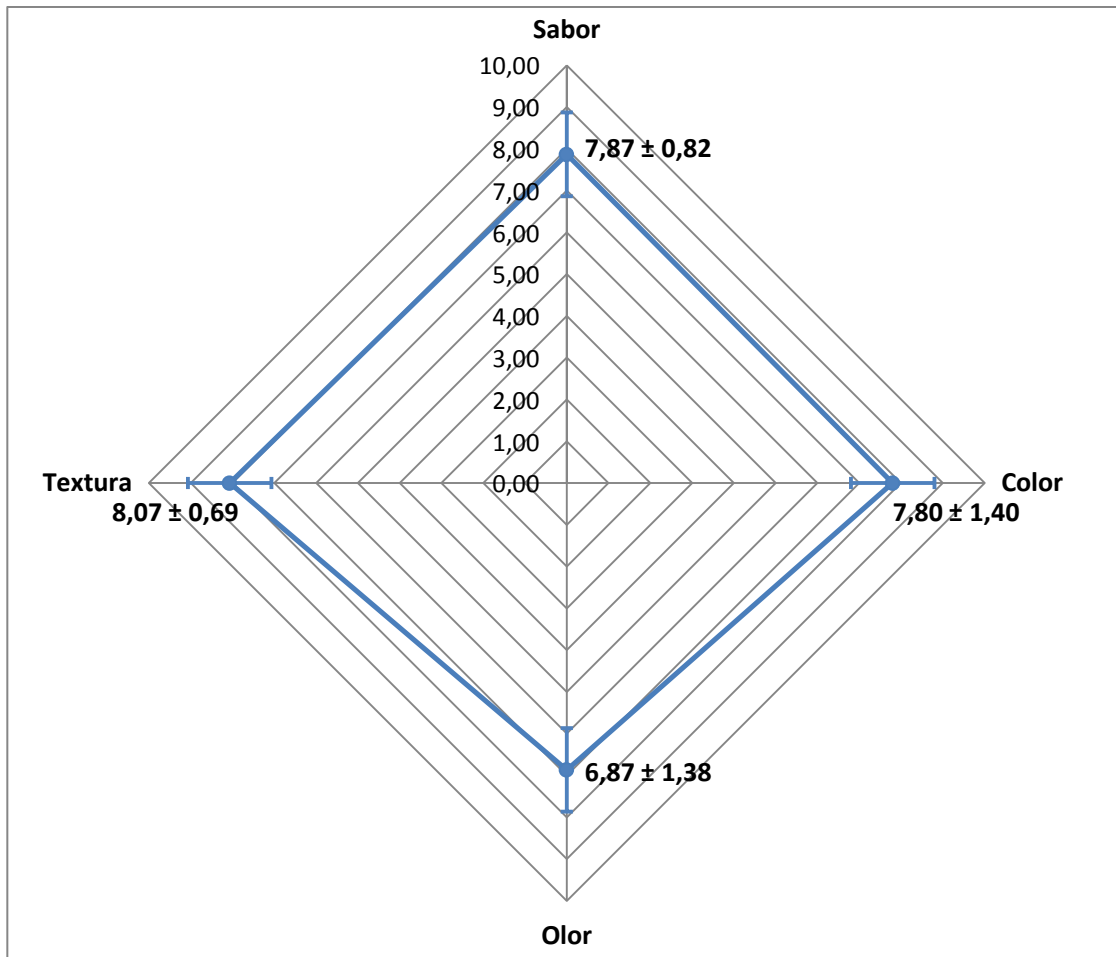
Posteriormente, se realizó una evaluación sensorial al atol de plátano (*Musa paradisiaca L.*) preparado con la harina obtenida por medio de una prueba hedónica de nueve puntos, evaluando como características sabor, color, olor y textura.

Figura 5. **Prueba de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con cáscara**



Fuente: elaboración propia, a partir del análisis sensorial, n= 30 panelistas, apéndice 3.

Figura 6. Prueba de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sin cáscara



Fuente: elaboración propia, a partir del análisis sensorial, n= 30 panelistas, apéndice 3.

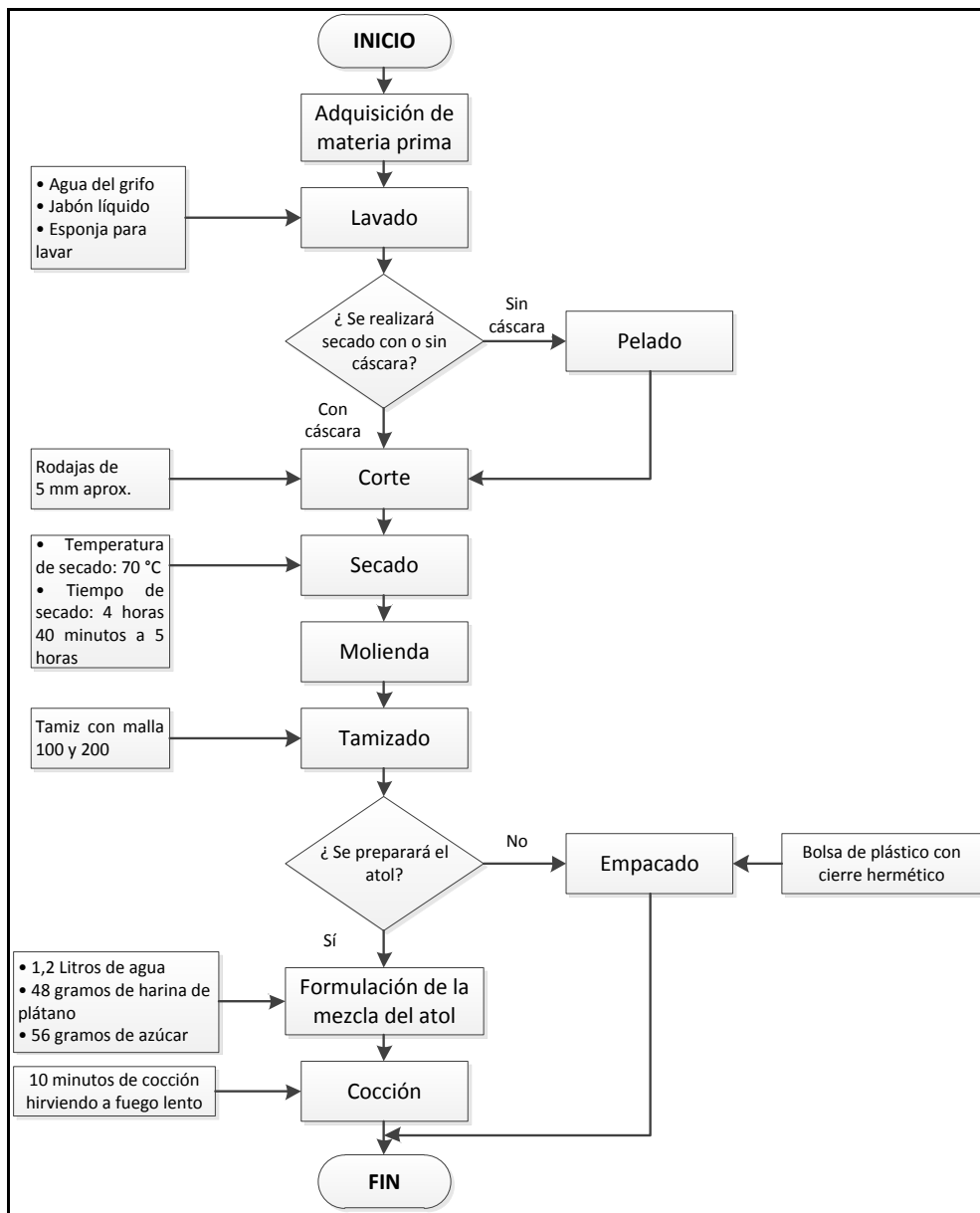
Tabla IX. **Análisis estadístico de aceptabilidad del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con y sin cáscara**

Característica evaluada	Z experimental	Z crítico
Sabor	6,93	4,00
Color	7,46	
Olor	4,30 E-14	
Textura	10,55	
<p>Con un nivel de confiabilidad del 95 % se puede concluir que para los datos de sabor, color y textura, las medias de los resultados difieren entre sí y se rechaza la opción de <math>\mu_1 = \mu_2</math>. Al mismo nivel de confiabilidad se puede afirmar que para el olor se cumple que <math>\mu_1 = \mu_2</math>. Por lo que el nivel de aceptabilidad del sabor, color y textura es mayor para las muestras de atol de plátano preparado con harina sin cáscara.</p>		

Fuente: elaboración propia, a partir del análisis estadístico, apéndice 3.

Finalmente, se establece el diagrama de flujo para la producción del atol.

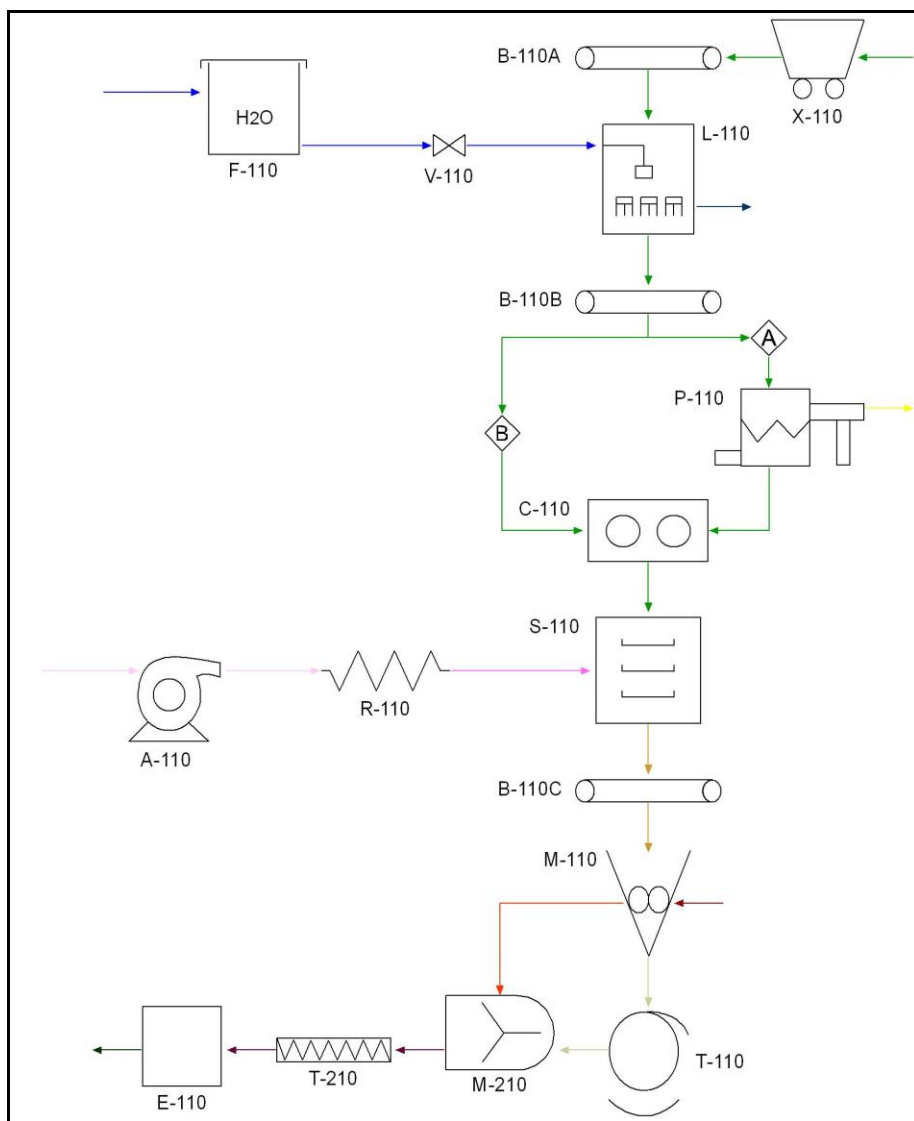
Figura 7. Diagrama de flujo de la preparación del atol de plátano (*Musa paradisiaca L.*)



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Visio.















También se diseña el diagrama de equipo de la línea de producción para la elaboración de harina de atol de plátano.

Figura 8. **Diagrama de equipo de la línea de producción para la elaboración de harina de atol de plátano (*Musa paradisiaca* L.)**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Macromedia Freehand MX.

Tabla X. **Simbología de equipos y servicios del diagrama de equipo de la línea de producción**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Servicio</b>
X-110	Transporte de plátano	 Plátano húmedo
B-110	Bandas de transporte sin fin	 Plátano seco
L-110	Lavadora por aspersion	 Harina de plátano
P-110	Pelador	 Desecho de lavado
C-110	Rebanadora	 Desecho de pelado
S-110	Secador de bandejas	 Línea de agua
M-110	Molino de discos	 Línea de aire
T-110	Tamizador	 Línea de aire caliente
M-210	Mezcladora	 Producto empacado
T-210	Tornillo sin fin	 Azúcar
E-110	Empaquetadora	 Azúcar refinada
F-110	Tanque de almacenamiento de agua	 Mezcla de atol en polvo
V-110	Válvula de mariposa	 Si se seca sin cáscara
A-110	Impulsor de aire	 Si se seca con cáscara
R-110	Resistencia eléctrica	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Determinación del costo de equipos de la línea de producción de harina de atol para un lote de 65 kilogramos**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (Q.)</b>	<b>Valor total (Q.)</b>
Banda transportadora sin fin	3	16 000,00	48 000,00
Lavadora por aspersión de acero inoxidable y aluminio	1	4 300,00	4 300,00
Pelador de acero inoxidable	1	8 200,00	8 200,00
Rebanadora de acero inoxidable	1	8 600,00	8 600,00
Secador de bandejas de acero inoxidable	1	32 000,00	32 000,00
Molino de discos	1	4 650,00	4 650,00
Tamizador de acero inoxidable	1	10 350,00	10 350,00
Mezclador	1	43 000,00	43 000,00
Empaquetadora (incluido el tornillo sin fin)	1	25 800,00	25 800,00
		<b>TOTAL</b>	184 900,00

Fuente: elaboración propia.





## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación del proceso de obtención de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*), su respectiva caracterización proximal y sensorial para la preparación de atol partiendo de la harina obtenida. Asimismo, se elaboró la gráfica de secado de peso total del plátano en función del tiempo durante el período de secado. Se evaluó el rendimiento de producción de la harina obtenida, se determinó el contenido nutricional de la misma, se determinó el nivel de aceptabilidad de atol de plátano elaborado con la harina obtenida previamente y se diseñó la línea de producción para elaborar la harina de atol.

Para cumplir los objetivos planteados, se inició por el lavado y enjuague de la materia prima, luego se pesaron los lotes de plátano y se cortaron en rodajas de 5 mm de grosor. Con esto se procedió a realizar el secado, el cual se realizó en un secador de bandejas de flujo transversal, a una temperatura de 70 °C y utilizando plátano con cáscara y sin cáscara. El secado se realizó hasta que el peso de la materia prima fue constante, llegando a una humedad final de 9,29 % para las muestras secadas con cáscara y de 10,06 % de las muestras secadas sin cáscara. Al terminar la etapa de secado, se procedió a la reducción de tamaño de partícula en un molino de cuchillas, para luego ser pasado por tamices de 100 y 200 mm. La harina obtenida se envasó por lotes en bolsas herméticas y se pesó para determinar la masa final de harina.

Para realizar las gráficas de secado de pérdida de peso en función del tiempo, cada 20 minutos se pesaron las muestras de plátano. En la figura 3 se observa la gráfica de pérdida del peso de plátano con cáscara en función del

tiempo, mientras que en la figura 4 se aprecia la gráfica de pérdida del peso de plátano sin cáscara en función del tiempo, ambas en la sección de resultados. En estas gráficas se puede observar cómo la masa de sólido disminuye rápidamente en los primeros ochenta minutos, lo que indica que se ha llegado al valor de humedad crítico, por lo que después de esto se pierde una menor cantidad de agua, ya que los sólidos húmedos pierden el agua por evaporación primero de su superficie saturada y luego el agua del interior, la cual es más difícil de eliminar.

Como se aprecia en las figuras 3 y 4, el tiempo de secado del plátano con cáscara fue de 5 horas, mientras que el tiempo de secado del plátano sin cáscara fue de 4 horas y 40 minutos. Esta variación de tiempos en la etapa de secado se atribuye a la mayor acumulación de humedad en la cáscara, ya que esta se constituye como una barrera que dificulta la salida del agua del interior del plátano. También es importante recalcar que ambos tiempos de secado son mayores que los encontrados en los antecedentes, esto podría deberse a que las variedades de plátanos usados en dichos antecedentes son distintas a la utilizada en esta investigación, además del origen geográfico de dichas muestras, sin olvidar mencionar las condiciones ambientales a las cuales se realizó cada uno de los procesos de secado.

Seguidamente del proceso de secado, con los pesos iniciales de la materia prima y el peso final de la harina obtenida, se logró determinar el rendimiento porcentual de la producción de harina de plátano, obteniéndose un promedio de 28,49 % y una desviación estándar de 0,15 % para el plátano secado con cáscara. Asimismo, el promedio del rendimiento porcentual de la producción de la harina de plátano secado sin cáscara fue de 24,27 % con desviación estándar de 0,09 %.

La diferencia porcentual entre los dos resultados se atribuye a la remoción de la cáscara del lote de plátanos que se deshidrató sin esta, siendo el rendimiento de producción de la harina de plátano con cáscara un 17,4 % superior al valor del rendimiento de producción de la harina de plátano sin cáscara, demostrándose por medio de una prueba de diferencia de medias que ambos resultados difieren entre sí con un nivel de confiabilidad del 95 %.

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis químico proximal a la harina de plátano, con el fin de determinar el contenido nutricional del producto obtenido. Los resultados se encuentran tabulados en la tabla VIII de la sección de resultados. En dicha tabla se puede observar que la harina de plátano con cáscara registra un 89,58 % de extracto libre de nitrógeno, 3,77 % de cenizas, 1,47 % de fibra cruda, 0,56 % de grasa y 3,65 % de proteína cruda. Por otra parte, el análisis proximal de la harina de plátano secada sin cáscara registra datos de 92,11 % de extracto libre de nitrógeno, 3,07 % de cenizas, 0,68 % de fibra cruda, 0,24 % de grasa y un 3,41 % de proteína cruda.

Con estos valores se puede concluir que tanto la harina de plátano con cáscara como la harina de plátano sin cáscara contienen altos niveles de nutrientes constituidos principalmente por grupos de carbohidratos digeribles, así como vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados y bajos niveles de fibra, grasa y proteína. Esto hace que dicho producto sea un complemento ideal para personas que desempeñan un alto nivel de actividad física, como niños y deportistas.

Al terminar el análisis químico proximal, se procedió a efectuar el análisis sensorial al atol realizado con las harinas obtenidas, para esto se utilizó una prueba hedónica de 9 puntos. En ella se evaluaron como características sabor, olor, color y textura. Estos resultados se aprecian en las figuras 3 y 4 de la

sección de resultados. En estas gráficas se observa el promedio de aceptabilidad obtenido por las muestras de atol proporcionadas a los consumidores y su respectiva desviación estándar para cada característica evaluada.

En el caso de la figura 5 se observan los resultados de los punteos recibidos para cada una de las propiedades organolépticas evaluadas al atol realizado con harina de plátano deshidratada con cáscara. En ella se observa que el punteo obtenido en sabor es de 6,93 puntos con una desviación estándar de 1,76 puntos, en color el puntaje obtenido fue de 6,60 con una desviación estándar de 1,89 puntos, en olor el puntaje fue de 6,87 con una desviación estándar de 1,43 puntos y en textura el punteo fue de 7,00 puntos con una desviación estándar de 1,66 puntos, esto sobre una base de 9 puntos. Estos datos colocan la aceptabilidad de este atol en la clasificación de me gusta poco en las características de sabor, color y olor, mientras que la textura queda ubicada en la clasificación de me gusta moderadamente.

De la misma forma se leen los datos de la gráfica 6, obteniéndose que el punteo obtenido en cuanto a sabor es de 7,87 puntos con una desviación estándar de 0,82 puntos, en color el punteo obtenido fue de 7,80 con una desviación estándar de 1,40, en lo que a olor se refiere el punteo fue de 6,87 con desviación estándar de 1,38 puntos y en textura el punteo obtenido fue de con una desviación estándar de 0,69 puntos. Por lo que los resultados de aceptación del atol usando como base la harina de plátano deshidratada sin cáscara colocan el sabor y el color en la clasificación de me gusta moderadamente, el olor en la clasificación de me gusta poco y la textura en la clasificación de me gusta mucho.

Con estos datos se puede concluir que el atol preparado usando harina de plátano sin cáscara tiene una mejor aceptabilidad en cuanto a sabor, color y textura se refiere, siendo el olor la única característica que los consumidores calificaron de igual forma que la de las muestras del atol preparado con harina de plátano con cáscara. Esto se verificó mediante el análisis estadístico que se observa en la tabla IX de la sección de resultados, ya que el valor experimental de Z es mayor que el valor teórico o crítico, con un nivel de confiabilidad de un 95 %.

Terminado el proceso de análisis proximal y sensorial, se estableció el diagrama de flujo del proceso de producción de atol de plátano, el cual se detalla en la figura 7. En este procedimiento se han tomado en cuenta todos y cada uno de los procesos necesarios para la preparación de la bebida, desde la adquisición de la materia prima, el lavado de esta, la decisión de realizar el secado del material vegetal con cáscara o sin cáscara, el pelado, el corte en rodajas, el proceso de secado, la molienda del material seco, el tamizado, la formulación del atol y la cocción. Se consideró, dentro del diagrama, la posibilidad de que no se desee llegar a las etapas de la formulación y cocción del atol, en dicho caso la harina se embala utilizando un empaque hermético para conservar el producto.

Con ayuda del diagrama de flujo se logró determinar la línea de producción de la harina del atol, la cual se aprecia en la figura 8 de la sección de resultados. El proceso inicia con la recepción del plátano (*Musa paradisiaca* L.), para que posteriormente sea trasladado hasta una lavadora por aspersión, en la cual se eliminarán los sólidos no deseados de la materia prima. El proceso de eliminación de la cáscara dependerá de si el secado se hará con cáscara o sin cáscara, por lo que si se desea pelar la materia prima se realizará en un pelador especial para plátano. Posteriormente, se rebana el plátano en rodajas

de 5 milímetros de grosor para ser trasladado a un secador de bandejas, en el cual se extraerá el agua interna del plátano.

El secador de bandejas funcionará a una temperatura de 70 grados Celsius y trabajará con lotes de 120 kilogramos de material. El plátano deshidratado es trasladado por una banda sin fin hacia el molino de discos para obtener el polvo fino, el cual posteriormente será sometido a un tamiz con número de 200 milímetros. La harina obtenida será trasladada a un mezclador donde se le agregará el azúcar, la cual fue refinada anteriormente en el mismo molino de discos. El producto final es trasladado hacia el área de empaque en donde se hace pasar por la empaquetadora automática. El empaque a utilizar puede ser una bolsa bilaminada de polipropileno con doble pliegue en el exterior, para que el producto mantenga sus características organolépticas.

Debido a que no se conoce el dato de demanda para el producto, se eligió el equipo para la producción de lotes de 65 kilogramos de harina de atol y con base en esto se calculó que el costo para el montaje de una línea con dichas características asciende a unos Q 184 900,00, como se observa en la tabla XI de la sección de resultados.

## CONCLUSIONES

1. Las curvas de secado de pérdida de peso en función del tiempo demuestran el comportamiento decreciente típico, registrando la mayor pérdida de agua en los primeros ochenta minutos de iniciado el proceso.
2. El rendimiento de producción de la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) con cáscara fue superior en un 17,4 % al rendimiento de producción de la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sin cáscara.
3. El análisis químico proximal realizado a las muestras de harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) mostraron altos contenidos de extracto etéreo, el cual indica altos contenido de nutrientes como carbohidratos digeribles, vitaminas y compuestos orgánicos solubles no nitrogenados y bajo contenido de fibra, grasa y proteína.
4. Los resultados del análisis sensorial demuestran una mayor aceptabilidad de todas las características organolépticas, exceptuando el olor, del atol realizado con la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) deshidratado sin cáscara, con un nivel de confiabilidad del 95 %.
5. Es factible utilizar harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para formular una bebida de consumo humano como atol.
6. El proceso de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) involucra las operaciones unitarias de secado, molienda y tamizado.





## RECOMENDACIONES

1. Estudiar la posibilidad de la realización de atol de plátano con leche o con canela, y su impacto en las propiedades organolépticas del producto.
2. Analizar la forma de mejorar la cantidad de proteína de la harina de plátano, realizando mezclas con harinas de otros productos, evaluando de igual forma la aceptabilidad de dichas mezclas, con el fin de mejorar las propiedades nutritivas de la harina de plátano.
3. Realizar una investigación con el fin de estudiar la factibilidad del uso de la harina de plátano como espesante alimenticio.
4. Desarrollar una investigación para crear más productos a base de la harina de plátano, ya que al no poseer gluten, se abre la posibilidad de que personas alérgicas a dicho compuesto puedan incorporar estos productos a su dieta.
5. Ejecutar una bitácora de investigación con cada una de las investigaciones que involucren el uso de productos no convencionales similares a esta investigación, con el fin de facilitar la búsqueda de información a personas interesadas en invertir en dichas investigaciones.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR CASTILLO, Luis Alfonso. *Estudio de las características de deshidratación de dos variedades de plátano*. Trabajo de graduación en Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 35 p.
2. *Análisis proximales*. [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/ab489s03.htm>>. [Consulta: 30 de marzo de 2015].
3. BOTA, Enric; CASTRO, Juan José; SANCHO, Josep. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. España: Universitat Barcelona, 2001. 336 p.
4. *Calorías en plátano, frutas frescas*. [en línea]. <<http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/frutas/frutas-frescas/platano.html>>. [Consulta: 30 de marzo de 2015].
5. *Cultivo de plátano*. [en línea]. <[http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo\\_de\\_platano](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_platano)>. [Consulta: 30 de marzo de 2015].
6. FORTIN, Jacinthe; DESPLANCKE, Catherine; AUBÉ, Claude; RONCALÉS, Pedro. *Guía de selección y entrenamiento de un panel de catadores*. España: Acibia, 2001. 124 p.

7. *Imagen de plátano verde.* [en línea].  
<[gustolatino.files.wordpress.com/2014/01/platano-verde.jpg](http://gustolatino.files.wordpress.com/2014/01/platano-verde.jpg)>.  
[Consulta: 30 de marzo de 2015].
8. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química.* 4a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 1 114 p.
9. PÉREZ PRADO, José Adán. *Modelos de curvas de deshidratado de plátano Roatán en verde (Musa acuminata).* México: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Córdoba, Veracruz, 2010. 92 p.
10. PERRY, John. *Manual del ingeniero químico.* 7a ed. España: McGraw Hill, 1992. v. 5.
11. RODRÍGUEZ POZUELOS, Ronald Roberto. *Evaluación de rendimiento en la producción de harina de malanga (Colocasia esculenta (L.) Schott) a nivel laboratorio y su caracterización proximal y fisicoquímica para el aprovechamiento alimenticio.* Trabajo de graduación en Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 77 p.
12. RUIZ FUNES, Luis Ernesto. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleifera) y su respectiva evaluación nutricional.* Trabajo de graduación en Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 310 p.

13. SANTIAGO ROLDÁN, Luz del Carmen. *Valor nutritivo de harina de banano verde*. Trabajo de graduación en Nutrición. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2005. 86 p.
14. SOTO FRANCO, Clara Ivonne. *Proceso de fabricación de harina de coco (Cocos nucifera) para la obtención de un producto de panificación para personas celíacas*. Trabajo de graduación en Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 96 p.
15. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 9a ed. México: Pearson, 2012. 816 p.



## APÉNDICES

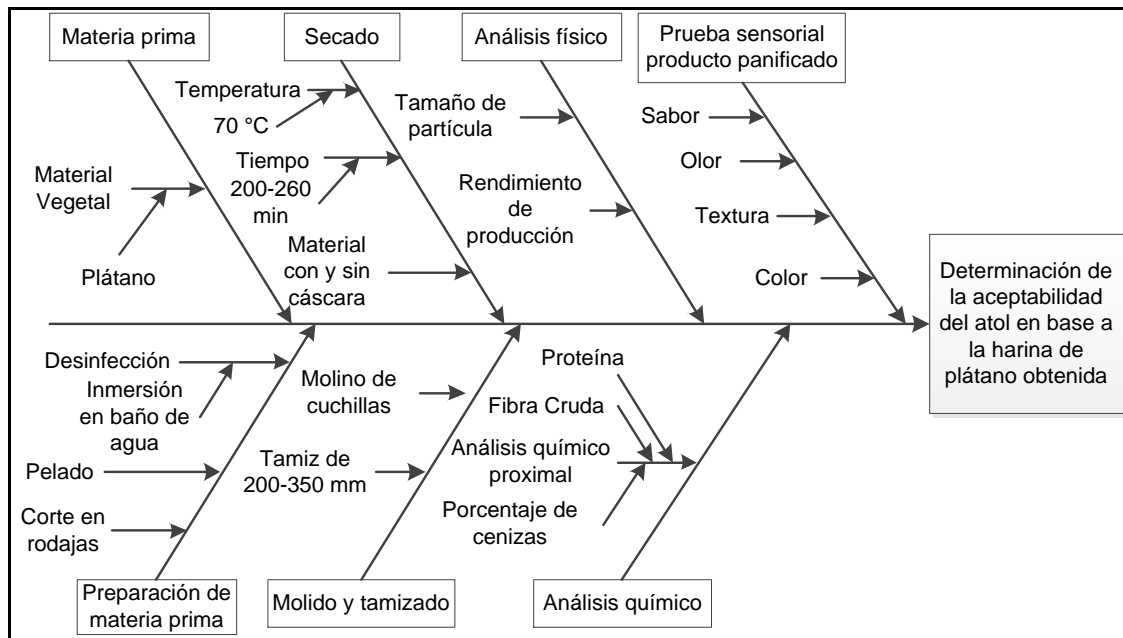
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

1er. paso	2do. paso	3er. paso	4to. paso	5to. paso	6to. paso	7mo. paso
Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico	Especificación	Problema a resolver	Temario tentativo
Licenciatura en Ingeniería Química	Química	Análisis Cuantitativo	Métodos Analíticos	Gravimetría	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE PLÁTANO ( <i>Musa paradisiaca</i> L.) PARA LA PREPARACIÓN DE ATOL Y SU CARACTERIZACIÓN PROXIMAL Y SENSORIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Adquisición de la materia prima</li> <li>•Proceso de Limpieza de la materia prima</li> <li>•Corte en rodajas del plátano</li> <li>•Secado del material</li> <li>•Molienda del producto seco</li> <li>•Tamizado del producto molido</li> <li>•Análisis químico proximal a la harina obtenida</li> <li>•Preparación del atol líquido</li> <li>•Prueba hedónicas de aceptabilidad del producto evaluando como tópicos el sabor, olor, color y textura</li> <li>•Presentación del informe final</li> </ul>
	Operaciones Unitarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Transferencia de Masa en Unidades continuas (IQ-5)</li> <li>•Operaciones Unitarias C. (IQ-6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operaciones gas-sólido</li> <li>• Manejo de sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Difusión molecular</li> <li>•Secado de sólidos</li> <li>•Molienda y tamizado</li> </ul>		
	Área Complementaria	Estadística 2	Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Determinación de promedios y desviaciones estándar</li> </ul>		
	Fisicoquímica	-	-	-		
	Especialización	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tecnología de los alimentos</li> <li>•Microbiología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desarrollo de nuevos productos</li> <li>•Análisis de inocuidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Análisis organolépticos</li> <li>•Control de Calidad</li> </ul>		

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 2. **Diagrama de Ishikawa del proceso de producción de atol de plátano (*Musa paradisiaca* L.)**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

Apéndice 3. **Datos calculados**

Tabla A. **Datos experimentales de secado de plátano (*Musa paradisiaca* L.) con cáscara**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Bandeja 1 (g)</b>	<b>Bandeja 2 (g)</b>	<b>Bandeja 3 (g)</b>
0	267	293	269
20	249	271	250
40	227	244	228
60	205	222	211
80	192	210	197
100	180	186	182
120	172	173	173
140	165	162	165
160	153	147	153
180	141	132	142
200	128	122	131
220	116	111	118
240	104	102	106
260	92	94	94
280	81	89	83
300	81	89	81

Fuente: elaboración propia.

Tabla B. **Datos experimentales de secado de plátano (*Musa paradisiaca* L.) sin cáscara**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Bandeja 1 (g)</b>	<b>Bandeja 2 (g)</b>	<b>Bandeja 3 (g)</b>
0	203	196	208
20	181	180	193
40	164	163	175
60	145	146	160
80	118	125	138
100	112	118	131
120	104	112	125
140	95	103	116
160	86	93	108
180	80	87	100
200	79	81	93
220	77	78	89
240	76	75	83
260	76	72	78
280	76	72	78

Fuente: elaboración propia.

Tabla C. Rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con cáscara

	Peso inicial plátano (g)	Peso final harina (g)	Rendimiento (%)
Bandeja 1	283	81	28,622
Bandeja 2	312	89	28,526
Bandeja 3	286	81	28,322
<b>Promedio</b>	293,667	83,667	28,490
<b>Desv. Estándar</b>	15,948	4,619	0,153

Fuente: elaboración propia.

Tabla D. Rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) sin cáscara

	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
Bandeja 1	314	76	24,204
Bandeja 2	297	72	24,242
Bandeja 3	320	78	24,375
<b>Promedio</b>	310,333	75,333	24,274
<b>Desv. Estándar</b>	11,930	3,055	0,090

Fuente: elaboración propia.

Tabla E. **Ingredientes utilizados en la formulación de la mezcla del atol a base de la harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*)**

Ingrediente	Cantidad
Agua	2,4 Litros
Harina de plátano	96 gramos
Azúcar	112 gramos
10 minutos de tiempo de cocción hirviendo a fuego lento	

Fuente: elaboración propia.

Tabla F. **Análisis sensorial del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con cáscara**

Encuesta	Características evaluadas			
	Sabor	Color	Olor	Textura
1	7	6	7	6
2	8	8	7	8
3	7	6	6	5
4	7	4	7	7
5	7	7	5	5
6	9	9	9	9
7	5	6	5	7
8	7	6	7	8
9	8	8	7	7
10	7	6	7	8
11	9	9	9	9

Continuación de la tabla F.

Encuesta	Características evaluadas			
	Sabor	Color	Olor	Textura
12	9	9	9	9
13	9	9	9	9
14	6	7	8	7
15	6	6	5	7
16	2	2	5	3
17	7	6	5	7
18	8	8	6	5
19	7	6	7	8
20	5	6	7	6
21	7	6	5	7
22	6	6	7	8
23	9	9	7	8
24	7	6	9	9
25	7	4	9	9
26	9	9	8	7
27	6	7	7	7
28	7	7	7	7
29	8	8	5	3
30	2	2	5	5
<b>Promedio</b>	6,93	6,60	6,87	7,00
<b>Desv. estándar</b>	1,76	1,89	1,43	1,66

Fuente: elaboración propia.

Tabla G. **Análisis sensorial del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) sin cáscara**

Encuesta	Características evaluadas			
	Sabor	Color	Olor	Textura
1	7	7	7	8
2	8	8	7	8
3	8	9	6	9
4	8	9	7	8
5	9	9	5	7
6	8	8	8	8
7	7	5	7	7
8	9	9	8	9
9	8	8	7	7
10	7	8	5	8
11	9	9	9	9
12	9	9	9	9
13	7	8	8	8
14	9	9	9	9
15	7	7	5	8
16	7	4	5	8
17	7	5	7	8
18	8	8	6	9
19	8	9	7	8
20	7	7	7	7
21	7	8	5	8
22	7	7	5	8
23	8	8	8	9

Continuación de la tabla G.

Encuesta	Características evaluadas			
	Sabor	Color	Olor	Textura
24	9	9	8	8
25	8	9	9	9
26	9	9	8	8
27	7	8	7	8
28	9	9	7	7
29	8	8	5	8
30	7	4	5	7
<b>Promedio</b>	7,87	7,80	6,87	8,07
<b>Desv. estándar</b>	0,82	1,49	1,38	0,69

Fuente: elaboración propia.



Tabla H. **Análisis estadístico del rendimiento de producción de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con y sin cáscara**

	Variable 1	Variable 2
Media	28,49	24,27
Varianza (conocida)	0,0235	0,0081
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
z	41,08	
Valor crítico de z (una cola)	1,64	

Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Análisis estadístico de la prueba sensorial del atol preparado con harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con y sin cáscara**

Característica evaluada	F experimental	F crítico
Sabor	6,93	4,00
Color	7,46	4,00
Olor	4,30 E-14	4,00
Textura	10,55	4,00

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Formato de la prueba hedónica

<b>PRUEBA HEDÓNICA DE NUEVE PUNTOS</b>				
<b>Instrucciones:</b> pruebe la muestra. Marque de izquierda a derecha dejando indicado el grado en que gusta o desagrada la muestra degustada. En el espacio inferior coloque las observaciones que considere necesarias e indique el motivo de su decisión.				
		<b>CÓDIGO</b>	CC	SC
<b>TÓPICO A EVALUAR</b>	Sabor	Color	Olor	Textura
Me gusta muchísimo				
Me gusta mucho				
Me gusta moderadamente				
Me gusta poco				
No me gusta ni me disgusta				
Me disgusta poco				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta mucho				
Me disgusta muchísimo				
<b>OBSERVACIONES</b>				

Fuente: elaboración propia.



## **ANEXOS**

### **Anexo I. Metodologías del análisis químico proximal**

Los procedimientos del análisis químico proximal se detallan a continuación:

#### **Determinación de materia seca parcial y total (humedad)**

##### Materiales y equipo

- Balanza analítica con capacidad de 0,000 1 g hasta 250 g de peso.
- Papel parafinado.
- Cazuelas.
- Horno tipo armario marca Labconco con capacidad de 100 muestras.
- Paletas de madera.
- Guantes de asbesto.
- Pinzas.
- Calculadora científica.
- Espátula.

##### Procedimiento para materia seca parcial (MSP)

- Se calibra la balanza semianalítica.
- Se pesa papel parafinado (tara).
- Se pesa 500 g de muestra.
- Se introduce a horno a 60 °C por 24-48 hrs.

- Se aplica la siguiente fórmula

$$\text{Peso final} - \text{Tara} = \text{Peso Final Muestra} = \text{M.S.P.}$$

Procedimiento para materia seca total (MST)

- Se calibra la balanza analítica.
- Se pesa cazuela (tara).
- Se pesa cuatro gramos de muestra, en promedio.
- Se introduce la muestra, utilizando las cazuelas a un horno tipo armario a una temperatura promedio de 105 °C por 18-24 horas.
- Se enfría en campana desecadora para evitar que absorba humedad del ambiente.
- Se vuelve a pesar.
- Se aplica la siguiente fórmula

$$\text{Peso final} - \text{Tara} = \frac{\text{Peso final Muestra}}{\text{Peso inicial}} \times 100 = \text{MST}$$

Y luego,

$$\frac{\text{MSP} \times \text{MST}}{100} = \text{MSR} - 100 = \text{Humedad}$$

MSR = Materia seca resultante

## **Determinación de Cenizas**

Materiales y equipo

- Balanza analítica con capacidad de 0,000 1 g hasta 250 g de peso.

- Crisoles de hueso o porcelana.
- Una mufla con capacidad de hasta 20 crisoles de 50 ml cada uno, y de 1 100 °C de temperatura.
- Guantes de asbesto.
- Pinzas.
- Espátula.
- Gafas.
- Calculadora científica.

#### Procedimiento

- Se pesa los crisoles, que servirían como tara.
- Se pesa cuatro gramos de muestra, en promedio.
- Se introduce la muestra a una mufla a una temperatura de 600 °C por dos horas.
- Se enfría en plancha de asbesto por tres minutos y luego se continuó enfriando en campana por 30 minutos.
- Se pesa nuevamente.
- Se aplica fórmula siguiente para conocer porcentaje de cenizas en la muestra

$$\text{Peso final} - \text{Tara} = \frac{\text{Peso final muestra}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

#### **Determinación de extracto etéreo (método goldfish)**

##### Materiales y equipo

- Balanza analítica con capacidad de 0,001 g hasta 160 g de peso.
- *Beackers* de Goldfish.
- Dedales de celulosa y de cristal.

- Portadedales.
- Horno tipo armario.
- Aparato de Goldfisch.
- Pinzas.
- Pañuelo desechable.

#### Reactivos

- Bencina de petróleo o éter de petróleo.

#### Procedimiento

- Se lavan bien las manos para remover grasa.
- Se calibra la balanza.
- Se pesa sobre el papel tisú (el cual se ha comprobado no tener efecto en el proceso) un gramo de muestra.
- Se dobla el papel y se pone sobre un dedal con su portadedal.
- Se pesa *beacker* de Goldfish, previamente desecado a 60 °C por cuatro a cinco horas.
- Se agrega al *beacker*, 40 a 50 ml de bencina de petróleo (cuyo efecto para extracción de grasa es similar al éter de petróleo, teniendo la ventaja de que es más barata).
- Se coloca en aparato de Goldfish (precalentado por 30 minutos para alcanzar 200 a 250 °C) por cinco a siete horas.
- Se retiran los *beackers* de Goldfish y los portadedales con sus dedales para ser transferidos estos últimos a un horno tipo armario a 60 °C por 24 horas.
- Se colocan dedales de cristal en el aparato de Goldfisch para recolectar la bencina (junto con los *beackers* que la contienen) para su uso posterior en el laboratorio.

- Luego de pasadas las 24 horas, se sacan del horno las muestras y se dejan enfriar para pesarlas.
- Se aplica la siguiente fórmula para conocer el porcentaje de extracto etéreo en la muestra

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{Peso muestra final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso muestra inicial}} \times 100$$

### **Determinación de proteína cruda (método Kjeldahl)**

#### Materiales y equipo

- Balanza analítica con capacidad de 0,000 1 g hasta 250 g de peso.
- Papel parafinado.
- Tubos Kendall.
- Digestor Kendall.
- Destilador Kjental.

#### Reactivos

- Ácido sulfúrico al GR.
- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio al 40 %.
- Ácido clorhídrico 0,2000 N.
- Ácido bórico al 2 %.
- Metanol GR.
- Verde de bromocresol.
- Rojo de metilo.
- Tabletas Kjeldahl o Tecator.



## Procedimiento

- Se tara el papel parafinado.
- Se pesa 1,0 gramo de muestra y se envuelve en el papel.
- Se dobla papel parafinado con la muestra.
- Se coloca en un balón Kjeldahl debidamente identificado.
- Se agrega dos tabletas de Kjeldahl que sirven como catalizador.
- Se agrega 15 ml de ácido sulfúrico grado reactivo (97,5 %).
  - Fase B: (digestor de Kjeldahl)
    - Se colocan los tubos (Rac completo) en el digestor.
    - Se coloca la tapadera (extractor de gases).
    - Se coloca las tapaderas laterales para que la temperatura fuera uniforme.
    - Se enciende el digestor y así mismo la llave de paso de agua, cuando el digestor alcanza la temperatura de 400 °C que es la deseada, se toma el tiempo de una hora que es el tiempo que dura la digestión.
    - Se apaga el equipo, se cierra la llave de paso de agua, se desmonta el extractor de gases y se quitan las tapaderas laterales.
    - Se saca el rack de tubos para que se enfriaran (20 min).
  - Fase C: (destilador Kjeltex)
    - Se enciende el aparato y se espera que caliente por 5-10 min. (Stim).
    - Se chequea que los cuatro depósitos tengan suficiente solución para los análisis que se realizaran.
      - HCl 0,200 N.
      - Agua destilada.
      - Alcalina (NaOH 40 %).
      - Ácido bórico 2 % (solución receptora).

- Modo manual (para calentar el destilador)
  - Se debe realizar una prueba con un tubo de Kjeldahl que contenga 75 ml de agua destilada.
  - Abrir la llave del agua (llave de color rojo).
  - Purgar las líneas de:
    - o ácido bórico (+ ó - = Rec Sol).
    - o HCl 0,200 N (Titran).
    - Alcalín 40 %.
- Modo automático (para correr las muestras en análisis)
  - Realizar dos pruebas más con tubos de Kjeldahl que contenga 75 ml agua destilada y chequear que dispense el ácido y el NaOH dos veces y que estén en un rango con la tecla blanca de la manera siguiente:
    - Con uno si fuera 0,026.
    - Con dos ó tres si fuera 0,040.
  - Correr estándar de amonio; esta fase es manual y el tablero debe estar en 1 000 (amonio – fer II sulfato hexahidratado y 0,5 de amonio  $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6$  de agua). En este momento el destilador realiza la siguiente operación:

$$\frac{\text{Mililitros gastados} \times N. \text{HCl} \times 1,401 (\text{Constante} = \text{peso del nitrógeno})}{\text{Peso de la muestra}}$$

- Con las teclas auto y Kjendahl y observando que el tablero esté en fórmula 1 571, se procede a correr todas las muestras.
- Una vez que terminó la destilación en cada en cada tubo, observar el panel de control donde se observa la lectura del porcentaje de PC o nitrógeno total, el cual deberá trasladarse a base seca, que es la forma correcta de reportarlo.

## Determinación de fibra cruda (digestión ácida y alcalina)

### Materiales y equipo

- Aparato Fibertec.
- Balanza analítica con capacidad de 0,001 g hasta 250 g de peso.
- Cresol de Gooch (de vidrio con porosidad).
- Campana de vacío.
- Mufla con capacidad de hasta 20 cresoles de 50 ml cada uno y 110 °C de temperatura.
- Horno.

### Reactivos

- 1 200 ml solución ácido sulfúrico grado reactivo (GR).
- Hidróxido de sodio GR.
- Agua desmineralizada.
- Alcohol etílico o acetona GR.
- Celite.

### Procedimiento

- Se calibra la balanza.
- Se tara el cresol de Gooch. Plenamente identificado.
- Se agrega 0,75 g de celite para que no se tape la porosidad.
- Se pesa 1,0 gramo de muestra del remanente de extracto etéreo, el cual se coloca dentro del cresol de Gooch (PI Muestra).
- Se traslada al aparato de Fibertec.
- Se calienta 30 minutos antes.
- Se coloca un *beacker* en la base.
  - Se enciende el aparato para precalentar.

- Se enciende el calentamiento del agua.
- Se enciende calentamiento de reactivos.
- Se enciende vacío negativo y positivo.
- Se aplica el ácido al 1,25 % flecha izquierda, (calentamiento).
- Se afora a 200 ml (palanca al centro, cuando llega a los 200 ml colocar la plancha y al momento de ebulir se toman 30 min).
- Se filtra con agua caliente (palanca hacia arriba).
- Se agrega 200 ml de agua destilada para labores.
- Se filtra.
- Se aplica hidróxido de sodio al 1,25 %. Flecha hacia la derecha.
- Se calienta y afora a 200 ml (palanca hacia el centro) y en el momento que comienza a ebulir se toman 30 min.
- Se filtra.
- Se agrega 200 ml agua destilada.
- Se apaga el equipo.
- Se sube la palanca.
- Se toma el cresol de Gooch con una pinza.
- Se filtra (palanca hacia arriba) con 30 ml de acetona para que no quedara con hidróxido y se deja reposar durante cinco minutos.
- Se lava y posteriormente se coloca el cresol al horno a 135 °C / 2 horas plancha de asbesto por tres minutos, luego a la campana de vacío.
- Se pesa (PI cresol).
- Se introduce a mufla a 525 °C / 5 horas – plancha de asbesto por tres min – y luego se deja enfriar dentro de la mufla levemente abierta por 25 min hasta que disminuya a 200 °C.
- Se introduce a la campana de vacío por 15-20 min.
- Se pesa (PF cresol).

- Se aplica la fórmula siguiente para obtener el porcentaje de fibra presente en la muestra

(1) Tara (2) PI Muestra (3) Cresol y digestión

(4) Cresol y cenizas (5) PF Muestra (4-3)

$$\frac{(5)}{(2)} \times 100 = \% \text{ fibra cruda}$$

### **Determinación de Extracto Libre de Nitrógeno (Carbohidratos Solubles)**

$$\% \text{ Total} = \text{Proteína} + \text{Fibra cruda} + \text{Extracto etéreo} + \text{Cenizas}$$


$$100 - \% \text{ Total} = \% \text{ ELN}$$

$$g \text{ ELN} = \frac{\% \text{ ELN}}{100} \times \text{Peso total de la muestra}$$

Fuente: SANTIAGO ROLDÁN, Luz del Carmen. *Valor nutritivo de harina de banano verde*. p. 61-68.


Anexo II. Informe de resultados del análisis químico proximal

Figura A. Determinación del contenido de ceniza de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) con cáscara



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**



**BROMATOLOGÍA**  
SERVICIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Edificio M5, 2º Nivel, Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala  
Teléfono: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 1676  
E-mail: bromato200@yahoo.es  
**No.522**


Elaborado por: Aura Marina de Marroquín  
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

**ANTONIO MELGAR,**  
28-08-2015.


Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA,**  
Fecha de realización: **DEL 24 AL 28-08-2015.**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA cruda %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. pepsina %	E.M. pepsina %	TND %	E.B. Mca/Kg	
1070	HARINA DE PLÁTANO CON CÁSCARA	SECA	9.29	90.71	0.62	1.62	4.03	4.16	89.58										
	COMO ALIMENTO				0.55	1.47	3.65	3.77											
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.</p>																			

**TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA: 1**



Lic. Miguel Ángel Rodenas  
Jefe Laboratorio de Bromatología



Resultados 2015/522  
04/09/15

Fuente: Laboratorio de Bromatología, USAC.



Figura C. Especificaciones de la determinación del contenido de cenizas

MATERIALES EN LOS QUE SE REALIZARON LOS ANÁLISIS ACREDITADOS:

1. Henos, rastrojos y cascarrillas
2. Forrajes verdes
3. Ensilados
4. Alimentos concentrados (menos del 15% de humedad)
5. Frutas y verduras de consumo humano
6. Carnes y subproductos cárnicos
7. Leches y subproductos lácteos
8. Plantas con otros fines diferentes de la alimentación humana o animal
9. Suelos
10. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

PRUEBA	MÉTODO DE REFERENCIA	APLICABLE	UNIDADES	RANGO	INCERTIDUMBRE
Materia Seca	AOAC: 976.05	4,8,9	%	85 a 100	
Materia Seca	Bateman 6.111	1,2,5,6	%	1 a 85	
Materia Seca	AOAC: 925.04	3	%	20 a 85	
Proteína Cruda	AOAC: 976.05 Tecador Manual (de) Ignec-Auto 1030	1,2,3,4,5,6,9	%	1 a 300	
Fibra Cruda	Tecador: Manual del 1010/1021 Fibrec-System I AOAC: 962.09 Bateman	1,2,3,4,5,6,7,8	%	1 a 60	
Fibra: Acido Detergente	Tecador: Manual del 1010/1021 Fibrec-System I	1,2,3,4	%	0 a 60	
Fibra Neutra Detergente	Tecador: Manual del 1010/1021 Fibrec-System I	1,2,3,4	%	0 a 90	
Extracto Etéreo Cenizas	Bateman 9.110 Abac: 942.05	1,2,3,4,5,6,8	%	0 a 100	
Extracto Libre de Nitrogeno	Bateman: 10.200	1,2,3,4,5,6	%	0 a 100	

Fuente: Laboratorio de Bromatología, USAC



