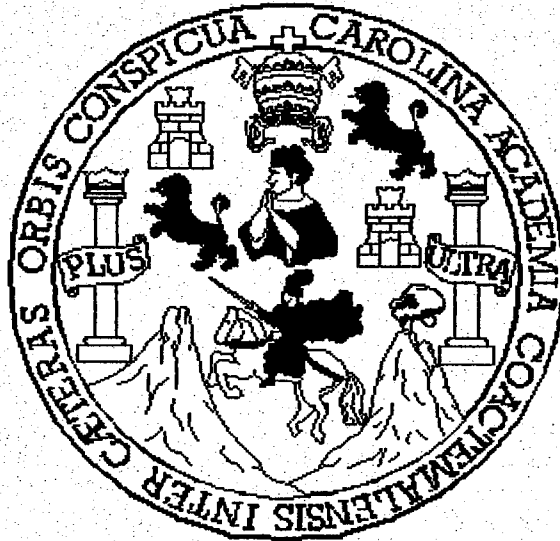


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

OPTIMIZACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE  
DESHIDRATACIÓN DEL BANANO PELADO POR EL  
MÉTODO DE ASPERSIÓN, AL VARIAR LA MADUREZ  
DEL FRUTO

TESIS

PRESENTADO POR:

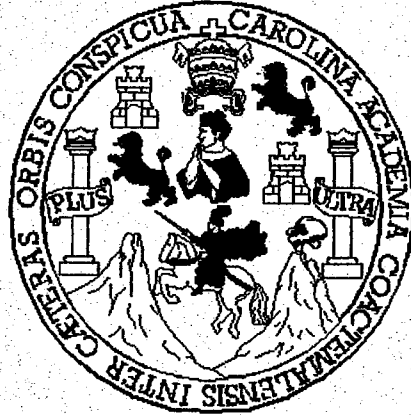
HAYDÉE MARICRUZ MONTENEGRO AMAYA

AL CONFERIRLE EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 1,999

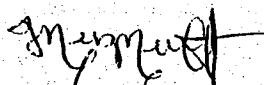
## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

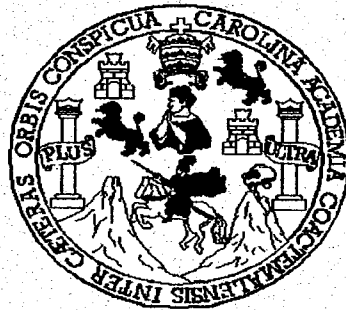


### OPTIMIZACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL BANANO PELADO POR EL MÉTODO DE ASPERSIÓN, AL VARIAR LA MADUREZ DEL FRUTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 23 de julio de 1,999.

  
Haydée Maricruz Montenegro Amaya

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

Decano: Ing. Herbert René Miranda Barrios

Vocal 1º: Ing. José Francisco Gómez Rivera

Vocal 2º: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Vocal 3º: Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana

Vocal 4º: Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán

Vocal 5º: Br. Mauricio Grajeda Mariscal

Secretario: Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRÁCTICO EL EXAMEN GENERAL  
PRIVADO**

Decano: Ing. Herbert René Miranda Barrios

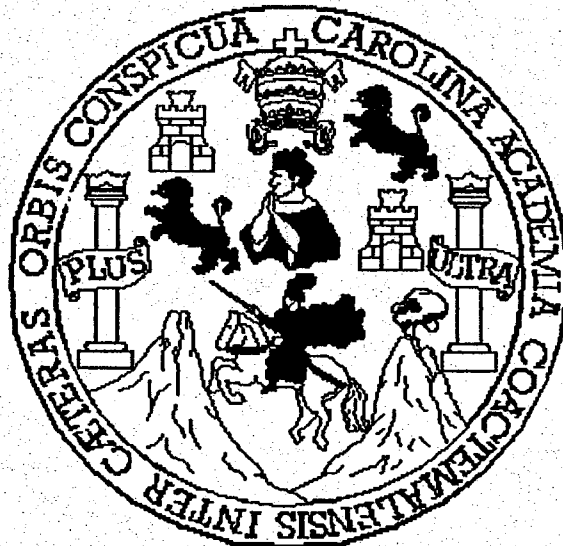
Examinador: Ing. José Antonio del Cid Pacheco

Examinador: Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada

Examinador: Ing. Otto Raúl de León de Paz

Secretario: Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

**Ingeniero**  
**Otto Raúl de León de Paz**  
**Escuela de Ingeniería Química**

Estimado Ingeniero de León:

Hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de tesis titulado: Optimización técnica del proceso de deshidratación del banano pelado por el método de aspersion al variar la madurez del fruto, realizado por el estudiante Haydée Maricruz Montenegro Amaya, Carnet 93-12118, del cual dejo constancia de mi aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular me suscribo de usted atentamente:

MS Inga. Hilda Palma de Martini  
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 22 de julio de 1,999.

Ingeniero  
Otto Raúl de León de Paz  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

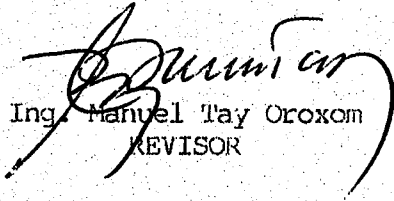
Estimado Ingeniero de León.

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis de la estudiante **Haydée Maricruz Montenegro Amaya**, titulado: **OPTIMIZACION TECNICA DEL PROCESO DE DESHIDRATACION DEL BANANO PELADO POR EL METODO DE ASPERSION AL VARIAR LA MADUREZ DEL FRUTO**, dejo constancia de aprobación para la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

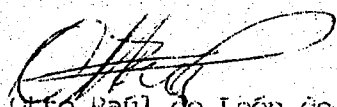
ID Y ENSEÑANZA A TODOS

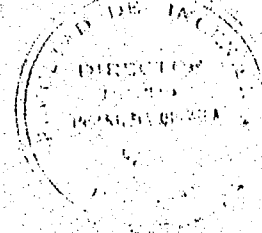
  
Ing. Manuel Tay Oroxom  
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Ingeniero Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis de la estudiante Haydée Maricruz Montenegro Anaya, titulado: OPTIMIZACION TECNICA DEL PROCESO DE DESHIDRATACION DEL BANANO PELADO POR EL METODO DE ASPERSION, AL VARIAR LA MADUREZ DEL FRUTO.

  
Ing. Otto Raúl de León de Paz  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, de agosto de 1,999.

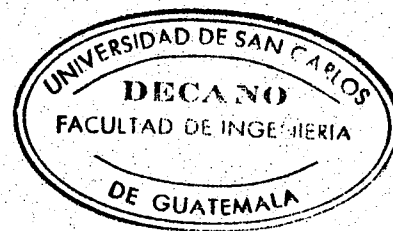


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **OPTIMIZACION TECNICA DEL PROCESO DE DESHIDRATACION DEL BANANO PELADO POR EL METODO DE ASPERSION, AL VARIAR LA MADUREZ DEL FRUTO** de la estudiante **Haydée Maricruz Montenegro Amaya**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert Heré Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, agosto de 1,999.

## AGRADECIMIENTO

**A Dios:**

Gracias Señor por todas las bendiciones que existen en mi vida. Siendo la culminación de mi carrera una más de ellas. Por tu amor y por tu guianza Padre.

“ Tu Señor eres mi todo; tú me colmas de bendiciones; mi vida está en tus manos”. Salmo 16:5

**A la Virgencita de Fátima:**

Gracias Madre por ser ese ejemplo de mujer a seguir. Por enseñarme que en la humildad se encuentra el gozo.

“ Mujeres buenas hay muchas, pero Tú eres la mejor de todas”. Proverbios 31:29

**A mi asesora:**

MS: Inga. Hilda Palma de Martini, por su apoyo y la amistad que me ha regalado a lo largo de la elaboración de éste trabajo.

**A mi revisor:**

Ing. Manuel Tay, por enseñarme que en esta carrera se debe ser íntegro y tenaz y paciente.

**A la familia de la Cerda Coto:**

Por ser la familia que me ha visto crecer, por su amistad, apoyo y solidaridad en todo momento.



## ACTO QUE DEDICO

### **A mis dos madres:**

Fabiola de Montenegro e Inga. Sandra Montenegro, por su amor y educarme con ejemplo no sólo con palabras, por su apoyo incondicional en todo momento. Gracias por enseñarme que todas las bendiciones vienen de Dios y que hay que multiplicar los talentos recibidos a base de esfuerzo y sacrificio.

### **A mis tíos :**

Dra. Susana Montenegro de Camposeco y Rodolfo Montenegro, por brindarme sus sabios consejos, y sobre todo por su amistad y confianza .

### **A mis primos:**

Alfredo Camposeco, José Fernando Camposeco, Juan Manuel Camposeco, Erick Montenegro, Axel Montenegro. Con mucho cariño a los compañeros de mi infancia y adolescencia.

### **A mis amigas :**

Lucky Muralles, Edna González, Claudia Castillo; por ser mis amigas desde mi infancia, por apoyarme, escucharme, por ser esa mano amiga que siempre se extiende en el momento preciso. Por compartir mis sueños, alegrías y lágrimas. Mil gracias.

### **A mis amigos y apoyos incondicionales en la universidad:**

Marcela González, Grettel Bendfeldt, Oscar Mazariegos, Luis Eduardo Mejía, Flor Méndez, Barony Vásquez; por compartir no sólo clases y libros sino anhelos y metas por alcanzar. Tienen un lugar especial en mi corazón.

### **A mi grupo de oración Shalom :**

Por tanta bendición que ha significado en mi vida. Especialmente a Silvana Dávila y Sonia León.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	V
RESUMEN	VI
INTRODUCCIÓN	VIII
1. ANTECEDENTES	10
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	15
4. HIPÓTESIS	16
5. MARCO TEÓRICO	17
5.1 Breve reseña sobre el origen del banano, su área cultivada en Guatemala y métodos de conservación	17
5.2 El secado o deshidratación	21
5.3 Etapas previas a la deshidratación de frutas	22
5.4 Medidas de pretratamiento al banano	24
5.5 Aspectos generales que hay que considerar	25
5.5.1 Actividad del agua	25
5.5.2 La concentración de hidrógenos	26
5.5.3 Potencial de óxido- reducción	27
5.5.4 Utilización de conservadores	27
5.5.4.1 Benzoato de Sodio	28
5.5.4.2 Sorbato de Potasio	28
5.5.4.3 Anhídrido Sulfuroso	28

5.5.5	Tratamientos térmicos	29
5.6	Clasificación general del secado	30
5.6.1	Por lotes	30
5.6.2	Continuos	30
5.6.2.1	Contacto directo	30
5.6.2.2	Secado al vacío	31
5.6.2.3	Secado con energía solar	32
5.6.2.4	Liofilización	32
5.7	Equipo utilizado para el secado	32
5.7.1	Secador de bandejas	32
5.7.2	Secador continuo de túnel	33
5.7.3	Secador rotativo	34
5.7.4	Secador de tambor	35
5.7.5	Secador por aspersión	36
5.7.6	Secador lecho fluidizado	36
5.8	Valor alimenticio y composición del banano	37
6.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	38
6.1	Descripción del proceso	38
6.2	Unidad experimental	39
6.3	Metodología experimental	39
6.4	Método	41
6.5	Manejo del Experimento	43

6.6 Descripción del método	39
6.7 Cálculos	41
6.8 Evaluación sensorial	43
6.9 Análisis Proximal	44
7. DISEÑO EXPERIMENTAL	45
8. RESULTADOS	48
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	53
BIBLIOGRAFÍA	55
APÉNDICES	57

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

No.	Título	pp.
1	Comparación de porcentaje de rendimiento obtenido de banano verde, camagüe y maduro	59
2	Comparación de libras de harina obtenidas de banano verde, camagüe y maduro.	60

## TABLAS

No.	Título	pp.
I.	Tabla ANOVA	45
II.	Tabla Tuckey	46
III.	Evaluación sensorial	47
IV.	Porcentaje producto obtenido base húmeda banano verde	48
V.	Porcentaje producto obtenido base húmeda banano camagüe	48

VI.	Porcentaje producto obtenido base húmeda banano maduro	48
VII.	Libras de harina obtenida base húmeda banano verde	49
VIII.	Libras de harina obtenida base húmeda banano camagüe	49
IX.	Libras de harina obtenida base húmeda banano maduro	49
X.	Análisis microbiológico	50
XI.	Análisis proximal	50
XII.	Análisis funcional	50
XIII.	Análisis de regresión logarítmica	51
XIV.	Composición del banano	66
XV.	Vitaminas y minerales del banano	67
XVI.	Exportaciones mundiales de banano	68
XVII.	Importaciones mundiales de banano	69

## GLOSARIO

- Camague** (Guatemaltequismo). Término con el cual se designa el grado de madurez entre el fruto verde y el maduro
- Carburo** es el hidrocarburo más sencillo, se encuentra en forma de roca, pertenece a la serie acotilénica, forma un gas incoloro de olor etéreo soluble en alcohol, acetano y agua. Es muy inflamable y forma mezclas explosivas con el aire, se usa para iluminación y en la soldadura, se obtiene a partir del carburo cálcico y es una materia prima en la síntesis de numerosos compuestos orgánicos. Al mezclarlo con agua produce acetileno.
- Puré** papilla hecha de pulpa de un fruto o vegetal.
- Polietileno** material de empaque resistente a la humedad y cambios bruscos de temperatura.

## RESUMEN

En el presente trabajo se obtiene harina de banano de diferente grado de madurez. Se logra producir, introduciendo un puré de la pulpa del fruto adicionándole un 20%, 40%, 60% en peso de agua, respecto del peso del puré; a un equipo de aspersion, utilizando como preservantes bisulfito de sodio, ácido cítrico, ácido ascórbico y ácido málico.

Se utiliza tanto banano verde, camagüe como maduro. Se realizan tres repeticiones para cada grado de madurez, dejando las condiciones del equipo de secado estables. Al grado de madurez del banano de mayores rendimientos se le practican análisis químicos (análisis proximal) y físicos (análisis sensorial). El harina de banano obtenida por este método tiene un 11% de humedad.

El trabajo experimental determina que, para éste caso especial de secado, es conveniente trabajar con banano verde ya que es el que da mayor rendimiento de producto obtenido, se recupera un 36 % en base húmeda; por ningún motivo se recomienda trabajar con banano maduro. Con el banano camagüe el proceso se torna ineficiente y honeroso. El resultado experimental se respalda en el análisis estadístico ANOVA y el método Tuckey.

El resultado del análisis sensorial demuestra que no existen diferencias significativas entre el sabor del producto obtenido en este experimento y el producto del fruto sin tratamiento, siendo del gusto del panelista.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala, (de acuerdo a la Organización de Alimentos y Agricultura, FAO, en el tratado de producción publicado en 1997), se encuentra catalogada entre los cinco principales países productores de Banano, en 1997 sus exportaciones llegaron a 630,000 toneladas de banano.

Se utilizan solamente, las dos compañías bananeras más fuertes del país: *Bandegua y Cobigua*. El área de cultivo es de 7,425 hectáreas; ocupando permanentemente alrededor de 5,000 trabajadores en forma directa. Lo cual indica que la producción bananera tiene un impacto social fuerte en nuestra nación, razón por la cual hay que hacerla más eficiente y productiva.

En las zonas productoras de banano se genera además del producto exportable; alrededor de un 28.45 % de fruta de rechazo, la cual es vendida a pequeñas empresas nacionales para el mercado local.

Esta cantidad de banano no exportable genera un serio problema, debido a que el mercado de consumo local no es tan amplio, pues se deberían consumir 21 kg. per capita de la población total guatemalteca para cubrir todo el excedente. Y por lo tanto, el banano de rechazo, en un buen porcentaje es desaprovechado, y se convierte en una carga económica para la producción bananera.

Si a lo anterior se le agrega el hecho de que por ser un fruto el banano es un producto perecedero; el problema se hace aún mayor.

Con la idea de plantear posibles soluciones a la situación bananera guatemalteca, se propone en el presente trabajo de tesis; optimizar técnicamente el proceso de deshidratación del banano pelado, por el método de aspersión, al variar la madurez del fruto; para obtener una harina apta para el consumo humano y para la alimentación animal.

## 1. ANTECEDENTES

A nivel comercial se han producido productos y subproductos del banano, los cuales se encuentran en forma de: banano en almibar, acidificaciones de banano en almibar, banano verde enlatado, banano en rodajas deshidratadas sin freír, deshidratación osmótica , puré de banano, etc.

En Guatemala el ICAITI (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial) presentó en septiembre de 1976 el proyecto de deshidratación de banano en rodajas realizado en un secador de bandejas con aire caliente, secador al vacío y las combinaciones ósmosis-aire caliente y ósmosis-vacío en febrero de 1976; el pH del banano no tuvo cambios significativos en ninguno de los procesos de deshidratación empleados, la acidez y azúcares reductoras disminuyeron en las muestras sometidas a tratamiento osmótico, mientras que el color, los azúcares totales y vitamina C no experimentaron cambios significativos; las muestras secadas por métodos convencionales mostraron preferencia de sabor según la escala hedónica (pruebas sensoriales para determinar sabor); la textura de la muestra secada por ósmosis vacío fue considerada muy dura; el costo del proceso osmótico fue mayor que el de los métodos convencionales y dicha diferencia no puede justificarse con mayor calidad.

Actualmente, existe tecnología adecuada para la preservación de puré de banano maduro congelado, algunas empresas transnacionales lo producen comercialmente.

Pero su mayor desventaja es el alto costo de producción. Razón por la cual casi no existen trabajos de investigación sobre productos congelados de banano, efectuados en los países en desarrollo.

De manera distinta existe bastante información técnica sobre las condiciones de operación más adecuadas para producir hojuelas (flakes) de banano verde o maduro y de mezclas de banano con soya o cereales en secadores de tambor rotatorios. También existen unos trabajos realizados a partir de mezclas de pulpas de banano con soya y cereales. Pero no existe suficiente información sobre producción industrial ni posibles mercados de colocación de los mismos. Se cita como un obstáculo para el desarrollo comercial del producto por ser muy hidrocópico, por lo que requiere empaque hermético a prueba de humedad.

El CENDES (Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador) realizó un estudio de prefactibilidad en 1996 sobre deshidratación de banano por medio de liofilización, en el cual se demuestra que la calidad del producto deshidratado por este método es de mejor calidad que los otros métodos empleados. En la literatura consultada no se encuentra ningún indicio de producción comercial de banano liofilizado. (Ref. 14)

Como golosina alternativa (snack) se han producido rodajas fritas de banano de rechazo, aplicándole preservantes y antioxidantes aumentando de esta manera, la vida útil del banano. Las rodajas son consideradas como un producto alimenticio especial, de alto costo, poco competitivo y con un mercado reducido. Hacen falta estudios sobre aspectos económicos y de mercado para promover la comercialización del producto y hacer de esta industria una empresa rentable. Las rodajas de banano verde han sido más

investigadas que las de banano maduro; obteniéndose un mejor resultado con el banano verde.

Otra técnica que se ha estudiado para preservar el banano es la irradiación. Las fuentes para la preservación de los alimentos más promisorias son: a.) Radiaciones Gama de radio - isótopo (principalmente Cobalto 60 y 2), b.) aceleradores de electrones de alta energía, c.) rayos Gama de otros isótopos tales como Cesio 137 y los rayos X basados en la conversión del haz de electrones. Los ensayos de irradiación de banano verde con rayos gama con el fin de preservarlos y extender su vida de estante no han sido prometedores y los resultados de las investigaciones de los diferentes grupos no son consistentes entre sí. (Ref. 3)

Otra opción para la preservación del banano es la fermentación láctica del puré de banano a partir de bacterias, proceso desarrollado en el ICAITI (Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial), en septiembre de 1995; en este proceso se reduce el pH por debajo de 4.5 en 24 horas. Siendo el pH natural del puré de banano 4.8 - 5. En el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Missouri, Columbia, EEUU. En 1997, se estudió la habilidad de cinco bacterias lácticas. Los resultados fueron similares a los obtenidos en Guatemala.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Guatemala siendo un país agrícola, y gran exportador de banano y es afectado actualmente por la reducción de cuotas en las compras internacionales de banano. Se realizó una investigación en el sector bananero de Guatemala la cual permitió determinar la gran cantidad de la producción Nacional de banano de rechazo existente. *“Lo cual crea problemas económicos a los productores, ya que todo el banano de rechazo de una misma cosecha madura al mismo tiempo, y el mercado no es lo suficientemente grande para consumirle en su totalidad. El banano que no se consume crea un nuevo problema, de contaminación ambiental, además de incrementar los costos de producción, ya que se necesita contratar personal para efectuar la labor de tratamiento del deshecho”.* (Ref. 15)

Por las causas mencionadas es apremiante buscar nuevos productos derivados del banano, que permitan prolongar su vida útil y suplir las necesidades alimenticias existentes en nuestro país.

Al producir “harina de banano” por el método spray dryer, se transforma un producto agrícola perecedero en un producto de fácil almacenamiento, con una vida útil mayor, además la cáscara se puede secar por otro método y utilizarla para forraje animal abriendo nuevos mercados. (Ref. 8). La Unión Europea, compra bananos frescos a su proveedor más cercano Africa y en menor medida a los países de América Latina; de igual manera sucede con los países del Lejano Oriente que poseen un comercio interregional; en la Unión Europea y en el Lejano Oriente existe un alto

interés por los productos procesados de frutas tropicales, entre ellas los derivados del banano; al ofrecer un producto de fácil preparación, con diferentes mercados de colocación (se puede utilizar en repostería, panadería, base de alimentación humana o concentrados animales); además con éste trabajo de investigación y dentro de la rama de ingeniería química particularmente en el área de alimentos, es importante crear iniciativas para la implentación de plantas procesadoras de productos no convencionales, *creando nuevas fuentes de trabajo y generando divisas al país.*

Es deber de la USAC y de sus egresados: promover, fomentar, y apoyar investigaciones sobre procesos que favorezcan a la agro-industria a nivel nacional.

### 3. OBJETIVOS

#### GENERAL

Optimizar, técnicamente, el proceso para la deshidratación de harina de banano, mediante el método "spray dryer"; utilizando para ello, banano de rechazo pelado de diferentes grados de madurez.

#### ESPECÍFICOS

1. Determinar el grado de maduración óptimo del banano de rechazo en el proceso de aspersion para obtener harina de banano.
2. Comparación del rendimiento obtenido de los tres tipos de madurez de banano utilizado ( verde, camagüe, maduro ).
3. Obtención de harina de banano.



## 4. HIPÓTESIS

Disminuyendo el grado de madurez del banano pelado se optimiza el proceso de deshidratación para la obtención de harina de banano por el método spray dryer (método de aspersión).

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Reseña sobre el origen del banano, su área cultivada en Guatemala, y métodos diferentes de conservación

#### 5.1.1 Reseña histórica

La palabra banano es africana. Se supone que los navegantes portugueses tratando de encontrar una ruta hacia China hace más de 500 años desembarcaron en Guinea, donde observaron que los nativos lo cultivaban, y satisfechos del excelente sabor se dedicaron a propagarlo en los territorios bajo su dominio, manteniendo su nombre *banano*, *banana*, el cual se ha mantenido hasta nuestros días, aunque también son aceptadas las variaciones *platáno*, *güineo*, *cumbure* y otros.

El sureste asiático se considera el lugar de origen de los bananos, su cultivo evolucionó simultáneamente en Malaya y en las islas Indonesias. El antropólogo Herbert Spiden escribió: " Es lo más probable que el banano sea oriundo de las húmedas regiones tropicales del sureste de Asia , incluyendo el nordeste de la India , Burna , Camboya y partes de la China del Sur, así como las Islas Mayores de Sumatra , Java, las Filipinas y Taiwán". En esos lugares las variedades sin semilla del verdadero banano de consumo doméstico se encuentran en estado silvestre, aunque es probable que hayan escapado de los cultivos. (Ref. 11)

Las musáceas (banano, plátano y demás güineos), a fines del siglo pasado eran cultivos casi desconocidos en Europa, llevados de las regiones tropicales por los naturalistas viajeros; conservados en los invernaderos cálidos de algunos museos. El plátano se consideraba como una fruta que sólo ocasionalmente llegaba a los puertos como un producto de exportación.

### 5.2.2 Área cultivada en Guatemala

El banano se clasifica en la familia *Musaceae*, dentro del orden de los *Zingiberales*. En esta familia se ubica el género *Musa*, cuya sección *Emusa* comprende todas las principales especies comestibles de banano. La mayor parte de la fruta que se comercia en la actualidad se ha originado de las especies *Musa Acuminata* y *Musa Balbisiana*, de una de ellas o bien de ambas.

El banano comestible sin semilla (*Musa Sapientum*) y el plátano (*Musa Paradisíaca*) constituyen las musáceas más ampliamente cultivadas en el trópico, con fines alimenticios. En el contexto internacional, el banano ha tomado importancia en época relativamente reciente. En América su comercio se inició hacia la mitad del siglo pasado, con exportaciones de Jamaica, Centro y Sur América hacia los Estados Unidos. Es un producto ampliamente consumido a escala mundial, pese a que se produce únicamente en países tropicales. En cuanto a volumen, es el segundo producto alimenticio de consumo directo, superado sólo por la leche.

En el presente siglo, el mercado bananero mundial se ha incrementado de manera extraordinaria, pasando de poco más de medio millón de toneladas exportadas a principios de 1900, a 2.3 millones de toneladas en

1950 y, posteriormente a 9 millones de toneladas en 1990.

En la actualidad, Guatemala cultiva y exporta el banano con alta tecnología y lo realizan las empresas: BANDEGUA y COBIGUA. Ambas tienen sus áreas de cultivo en el departamento de Izabal, localizado en la zona nor-atlántica del país. No se encuentran datos estadísticos sobre los pequeños productores de banano.

BANDEGUA tiene localizadas sus plantaciones en los distritos de Bobos (1200 ha) y Motagua (3600 ha); COBIGUA tiene sus operaciones en el distrito de los Andés, entre Ríos (2400 ha) y Morales (255 ha). Estas empresas dan ocupación permanente a más de cinco mil trabajadores directamente además de otros empleos.

La variedad de banano para exportación cultivada por BANDEGUA es el Gran Naine (99 % del área cultivada), con la característica de tener un porte más pequeño que se ve menos afectado por los vientos que azotan la región. La empresa COBIGUA cultiva principalmente la variedad Valery (60 % del área cultivada) que es de porte más alto y fruta de mejor calidad, mientras que la variedad Gran Naine la cultivan el resto de sus plantaciones.

En las zonas productoras de banano, se genera un alto porcentaje de fruta considerada como no exportable por no cumplir con las especificaciones señaladas por los compradores. Antes de ocurrir el fenómeno climatológico del huracán Mitch en Guatemala el 90% de la producción de las fincas y megafincas de la empresa Cobigua era considerado exportable; a partir del desastre ecológico sólo el 71.55% se considera exportable, siendo el 28.45% restante considerado como banano de

rechazo y de éste 28.45% el 6% como desperdicio.

La fruta puede ser rechazada por mal manejo del racimo una vez cortado, por daños producidos por insectos, pájaros y microorganismos, por las condiciones del medio ambiente y genéticas, y por deterioro causado por productos químicos, problemas en la selección y empaque inadecuado. Se analiza la materia prima (racimo de banano), si se encuentra libre de defectos en un 100% es exportable y se le cataloga como racimo tipo A, por el contrario si se le encuentran defectos se cataloga como racimo tipo B, no exportable, el cual puede ser catalogado como fruta de segunda clase o como desperdicio.

El muestreo en la empresa Cobigua se realiza de la siguiente manera: se toman 300 muestras diarias por cinco días de producción en cada una de las 14 fincas, teniendo 21 000 racimos de muestra a la semana. La forma en la cual se exporta el banano es fruto verde en cajas de 19 kg.

Por las cantidades el banano que no se exporta constituye un problema para los productores, pues éstos se ven obligados a desembolsar dinero para su eliminación, la cual debe ser tratada de una manera ecológica aceptable, ya que el banano en vías de putrefacción, crea un microclima ideal para desarrollar microorganismos y bacterias, los cuales atacan al banano sano, volviéndose una cadena de contaminación. Incrementando aún más los costos de eliminación de desechos.

## 5.2 El secado o deshidratación

Los diccionarios se refieren a la deshidratación y al secado como procesos de eliminación de agua, y básicamente, eso es así. Sin embargo, se deben diferenciar de otras operaciones utilizadas en el procesamiento de alimentos en donde también se elimina agua, pero no se consideran como formas de deshidratación, como por ejemplo los métodos mecánicos (filtración, escurrido, prensado y centrifugación), o la concentración. (Ref. 1)

Aún cuando a nivel mundial, no existe actualmente una definición concreta con respecto a la deshidratación o secado, en éste trabajo se utilizará el término deshidratación, a continuación se presenta una definición bastante completa: *“Es una operación que tiene como propósito la eliminación parcial o total del agua contenida en un alimento húmedo”*. (Ref. 8)

La deshidratación de materiales biológicos (en especial alimentos), se utiliza como técnica de preservación. Ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% al 5% en peso (dicho intervalo varía según el tipo de alimento a tratar); para preservar el sabor y su valor nutritivo, reduciendo la actividad del agua ( $a_w$ ) a niveles donde se inhibe la acción enzimática, evitando la descomposición de la fruta.

La deshidratación consiste en la eliminación de agua de los materiales de proceso; el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con

aire, pero en algunos casos el agua puede eliminarse de los materiales sólidos por medios mecánicos como: prensas, centrífugas, resultando más económico que el secado por medios térmicos.

El contenido de humedad del producto seco final varía, ya que depende del tipo de producto a deshidratar.

Desde la antigüedad el hombre a utilizado la técnica de deshidratación para alargar el tiempo de vida útil de las frutas; tradicionalmente la deshidratación comercial de frutas se ha aplicado a: manzanas, ciruelas, melocotones, duraznos, peras.

### 5.3. Etapas previas a la deshidratación de frutas

Existen seis etapas que preceden a la deshidratación de frutas (las cuales varían según la fruta que se trate) y de éstas etapas depende en gran porcentaje la calidad final del producto deshidratado. Pueden clasificarse en: ( Ref. 8 )

- a) **Obscurecimiento enzimático:** puede ser causado por la Polifenoloxidasa (enzima que oxida compuestos fenólicos a ortoquinonas y forma melaninas); sobre los compuestos fenólicos de la fruta, oxidándose a quinonas, produciendo un obscurecimiento de la misma.
- b) **Obscurecimiento no enzimático:** se da una formación de pigmentos pardos (melanoidinas) por reacciones no enzimáticas. Afecta el color, olor y sabor de la fruta. Puede ser causado por las reacciones entre compuestos carbonilos y aminoácidos o sus derivados y la formación de

complejos entre polifenoles y metales. Sus fuentes principales son: caramelización, Maillard y degradación del ácido ascórbico. Es catalizado por calor y en la deshidratación el pardeamiento se acelera a humedades inferiores al 20% y alta temperatura.

- **Maillard:** reacción entre grupos carbonilo (azúcares reductores y algunas vitaminas) y grupos amino libres (aminoácidos). Baja el valor nutricional. Cataliza el calor, los azúcares reductores, la actividad del agua ( $a_w$ ) y el potencial de hidrógeno (pH).

- **Caramelización:** efecto del calor sobre los azúcares dando color caramelo.

- **Ácido ascórbico:** el ácido dehidroascórbico se degrada o reacciona con compuestos aminados. (Ref.8)

- a) **Degradación de pigmentos:** pérdida del color total o parcial de la fruta, por elevadas temperaturas.
- b) **Pérdida de sustancias volátiles:** puede causar ausencia de olor total o parcial de la fruta. Dicha pérdida depende de las condiciones de secado y de las características del producto.
- c) **Destrucción de vitaminas:** estas son directamente proporcionales al cuidado que se tenga en la preparación de la fruta antes de quitarle la humedad; al proceso de secado y a las condiciones de almacenamiento; siendo el ácido ascórbico la sustancia vitamínica más susceptible de degradarse. La función del ácido ascórbico en la fruta es evitar el oscurecimiento del producto, pues anula la acumulación de quinonas.



Al degradarse el ácido ascórbico por la acción del calor éste se oxida, descomponiéndose en dehidroascórbico y diquetoglutónico.

d) Oxidación de lípidos: al ocurrir esta oxidación se desprenden malos olores y se fijan sabores desagradables en el producto final.

#### 5.4 Medidas de pretratamiento

Es necesario darle un pretratamiento al banano con el fin de inhibir la acción enzimática durante el proceso de secado, el cual puede consistir en: inactivación por tratamiento térmico, sulfitación o adición de ácido ascórbico.

El banano necesita que se inactive el sistema enzimático para evitar coloraciones oscuras. Existen diversos métodos para lograrlo, entre ellos: escaldado o tratamiento térmico, utilización de sulfitos, acidificación.

Dependiendo del fin o mercado que se busca, se puede utilizar cualquiera de los tres métodos. Para el caso específico del banano el tratamiento térmico se realiza antes de pelarlo.

La utilización de sulfitos se realiza después de pelado y/o troceado y la acidificación después de pulpeado.

Para evitar el pardeamiento enzimático:

□ Se puede excluir el oxígeno por medio de inmersión en agua, sirope, salmuera o por aplicación de vacío. Este proceso es temporal.

- Tratamiento térmico: escaldado en agua o vapor. Inhibe enzimas. Se debe controlar el tiempo y temperatura.
- Inmersión en ácidos: tiene poder reductor de quinonas para impedir formación de melaninas.
- Inmersión, Aspersión o Vapores en Sulfitos: agente antioxidante. El SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) de los sulfitos se combina con las quinonas.

## 5.5. Aspectos generales que hay que considerar

### 5.5.1 Actividad del agua ( $a_w$ )

En el caso de los alimentos, la actividad del agua, puede expresarse como la relación entre la presión de vapor de agua en el alimento ( $p_v$ ) y la presión de vapor de agua ( $p_{v0}$ ) ambas a la misma temperatura:

$$a_w = p_v / p_{v0}.$$

Donde:  $a_w$  es la medida de la disponibilidad del agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de las funciones metabólicas de los microorganismos; ya que en un alimento, el agua contenida no está toda disponible para el crecimiento microbiano, pues parte de ella se encuentra unida a los componentes del mismo.

Cuando un microorganismo se encuentra en un medio de  $a_w$  reducida, la célula se deshidrata, sufre *plasmólisis* deteniéndose el crecimiento, pero su proceso metabólico continúa, produciéndose una serie de reacciones de *osmorregulación* que dan lugar al incremento de la

concentración intracelular de los llamados *solutos compatibles*, para balancear la osmolalidad externa. En este momento la célula se rehidrata y el crecimiento continúa.

Este proceso de síntesis implica un consumo de energía considerable, disminuyendo en consecuencia la velocidad de crecimiento, ya que la energía disponible para la síntesis celular es menor. Si la  $a_w$  externa se reduce a un grado tal que sobrepase la capacidad de osmorregulación, el crecimiento se inhibe.

La preservación de un alimento por disminución de la  $a_w$ , se lleva a cabo por disolución de solutos en la fase acuosa de los alimentos o por extracción de agua, por métodos tales como *deshidratación* y *liofilización* o por disminución de la cantidad del agua disponible mediante *congelación*.

### 5.5.2 La concentración de hidrógeno o pH

Éste factor determina a menudo la clase de microorganismos que crecen en un alimento y los cambios que originan en él, cada organismo tiene un pH de crecimiento óptimo máximo y mínimo. En general, los hongos crecen a intervalos más amplios de pH que las levaduras y bacterias, mientras que muchos hongos crecen a niveles de acidez demasiado elevados para levaduras y bacterias.

Cuando una célula encuentra un medio con pH menor que el óptimo para su crecimiento, reacciona para mantener su valor interno de pH constante y por lo tanto debe absorber una cantidad de protones que pasan a su interior. (Ref. 9)

### 5.5.3 Potencial de oxido-reducción (o poder oxidante y reductor)

Tiene influencia en la clase de microorganismos que en él se desarrollan y por lo tanto en los cambios que en él ocurrirán. El potencial de O-R de un alimento puede ser alto (oxidante) o bajo (reductores). Si son oxidantes permitirá el crecimiento de aerobios y si son reductores de anaerobios o facultativos. La mayor parte de las frutas y vegetales poseen potencial O- R bajo y bien equilibrado debido a la presencia de sustancias reductoras.

### 5.5.4 Utilización de conservadores

Los conservadores han sido definidos como agentes químicos que sirven para retardar, evitar, enmascarar los cambios indeseables que sufren los alimentos. Tales cambios pueden ser originados por microorganismos, por enzimas, o por simples reacciones químicas.

Un agente químico puede ser bactericida a cierta concentración, sólo inhibir en concentraciones más bajas y perder su efectividad a disoluciones aún mayores.

Dentro de este grupo de conservadores se encuentran los ácidos débiles lipofílicos, como ácidos: cítrico, benzoico y propiónico así como sus sales.

Algunos actúan como transportadores de protones a través de la membrana celular favoreciendo la acidificación de la célula, este es el caso del ácido cítrico y del ascórbico; otros son eficaces conservadores, no solo por

ser conductores de protones, sino porque por sí mismos inhiben el crecimiento cuando se encuentran dentro del microorganismo.

#### 5.5.4.1 Benzoato de sodio (sal sódica del ácido benzoico)

Su efectividad depende del grado de disociación en el alimento, ya que la actividad microbiana está dada por la molécula ácida sin disociar, por lo tanto su actividad depende del pH, el rango óptimo está entre 2.5 y 4. Tiene actividad contra bacterias, hongos y levaduras.

#### 5.5.4.2 Sorbato de potasio (sal potásica del ácido sórbico)

Se emplea como fungistático en alimentos aunque también actúa sobre levaduras y bacterias extremadamente aerobias, el pH en el cual actúa es de 3 a 5.

#### 5.5.4.3 Anhídrido sulfuroso

Se emplea como antimicrobiano y antioxidante. Las fuentes de  $\text{SO}_2$  puede obtenerse de las sales de ácido sulfuroso (bisulfitos, metabisulfitos). Su acción va dirigida a inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras no fermentativas. Además el anhídrido sulfuroso bloquea las reacciones enzimáticas que provocan oscurecimiento, ya que reacciona con los aldehídos, cetonas y azúcares del alimento, evitando la posibilidad de cualquier reacción de oscurecimiento.

### 5.5.5 Tratamientos térmicos

La destrucción de los microorganismos por el calor se debe a la coagulación de sus proteínas y especialmente a la inactividad de las enzimas necesarias para su metabolismo. El uso de tratamientos térmicos dependerá de la clase de microorganismos que van a destruirse o eliminarse. De los otros métodos de conservación que se vayan a emplear y de los efectos del calor sobre el alimento.

Los diferentes grados de calentamiento usados en los alimentos se pueden clasificar en:

- 5.5.5.1      tratamientos térmicos leves (escaldado, pasteurización)
- 5.5.5.2      tratamientos térmicos alrededor de 100° C
- 5.5.5.3      tratamientos térmicos por encima de 100° C

Se utilizan los tratamientos térmicos leves cuando un tratamiento más elevado dañaría la calidad del producto; si uno de los fines perseguidos es la destrucción de los gérmenes patógenos; cuando los agentes de alteración más importantes no son muy termorresistentes como las levaduras y cuando los microorganismos supervivientes se controlan por otros métodos de conservación adicionales.

Los métodos de conservación adicionales pueden ser: refrigeración, envasado hermético y al vacío, envasado aséptico, adicionando altas concentraciones de azúcar o agregando conservadores químicos.

Los tratamientos térmicos alrededor de 100 °C, se logran hirviendo los alimentos si son líquidos o sumergiendo los recipientes que los contienen en agua hirviendo. Esto se realiza como tratamiento térmico final en una gran cantidad de productos ácidos.

Los tratamientos térmicos superiores a 100° C generalmente se alcanzan con vapor a presión.

## 5.6. Clasificación general del secado

### 5.6.1 Por lotes

Cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un período de tiempo.

### 5.6.2 Continuos

Donde el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco a régimen continuo.

#### 5.6.2.1 Contacto directo

El calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina con el mismo aire. Consiste en aplicar una capa delgada del producto líquido o en forma de papilla sobre una superficie caliente, donde permanece por un lapso muy corto (de segundos a minutos), para luego ser separado de la superficie por

medio de un sistema estacionario de cuchillas que raspan el alimento.

El producto final es una lámina muy delgada y quebradiza, que se tritura un poco para formar hojuelas. Normalmente, la superficie caliente es un tambor o cilindro hueco que es calentado por dentro con vapor y que gira lentamente. Implica menores consumos energéticos, de manera que no es caro, pero no siempre es el más adecuado por la demanda económica de la instalación. Su uso se limita a los productos menos sensibles al calor. En frutas las altas temperaturas requeridas pueden impartir un sabor a cocido y un color diferente al de la fruta fresca. Además, el alto contenido de azúcar de algunas frutas, hace difícil la remoción de los tambores. ( Ref. 1 )

#### 5.6.2.2 Secado al vacío

El calor se añade indirectamente por una radiación o por conducción, se utiliza una presión baja. Se obtienen excelentes resultados pero a un costo muy alto.

#### 5.6.2.3 Secado con energía solar

En frutas se utiliza en productos como dátiles, uvas y ciruelas principalmente, las ventajas que posee el secado con radiaciones solares es que utiliza una fuente de energía inagotable y sin costo alguno. Sin embargo, su principal desventaja es que depende de las fuerzas naturales, los procesos son lentos y poco controlados, requiere de superficies extensas y existe una alta posibilidad de contaminación de los productos. No se obtienen productos uniformes ni alta calidad. La humedad oscila entre 15% o 20% de manera que su vida útil es muy limitada.



#### 5.6.2.4 Secado por congelación (liofilización)

Es un proceso en el cual el agua en estado sólido o sea congelada, se sublima (paso directo de hielo a vapor) en una cámara cerrada que permite mantener el alimento a presiones bajas, de manera que no ocurre la transferencia de líquido a través del producto. Involucra dos etapas. Los materiales biológicos tratados por éste método tienen la ventaja de ser fácilmente reconstruídos y presentar muy buen sabor al rehidratarse. Se utilizan bajas temperaturas.

### 5.7 Equipo utilizado para el secado

#### 5.7.1 Secador de bandejas

Cámara en la cual se colocan las bandejas del producto a deshidratar. El aire es forzado mediante un ventilador a pasar por un calentador para luego atravesar las bandejas que contienen el material a secar (en este caso la fruta). Es, usualmente, el más barato por construir, más fácil de mantener y es completamente flexible.

#### 5.7.2 Secador continuo de túnel

Suelen ser compartimientos de bandejas o de carretillas operando en serie dentro de un túnel. El material a secar se coloca sobre las bandejas las cuales son transportadas por el túnel mediante carros sobre los cuales se sopla aire caliente; el flujo de aire puede ser a contracorriente (dirección opuesta al flujo del material) o bien a flujo paralelo (misma dirección; que el movimiento del material).

En general el túnel de flujo en contracorriente usa menos calor y da un producto más seco que el túnel de flujo paralelo. (Ref. 1)

### 5.7.3 Secadores rotativos

Consiste en un cilindro hueco que gira sobre su eje con una ligera inclinación hacia la salida. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes con flujo a contracorriente.

### 5.7.4 Secadores de tambor

Consiste en un tambor de metal calentado en cuyo exterior se evapora la capa delgada de un líquido o una suspensión hasta lograr secarla. Son adecuados para el procesamiento de suspensiones o pastas de sólidos finos, así como para soluciones verdaderas. El tambor funciona en parte como evaporador y en parte como secador.

### 5.7.5 Secadores por aspersion o spray dryer

Un líquido o una suspensión se pulveriza o se rocía con una corriente de gas caliente (aire), para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se vaporiza de dichas gotas con rapidez, obteniéndose partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas. El flujo de gas y de líquido de la cámara de pulverización puede ser a contracorriente o una combinación de ambas.

Entre las ventajas que posee el secado por atomización se encuentran:

- *Razones de transferencia de calor altas*
- *Tiempos cortos de secado*
- *Sistema continuo de fácil manejo*
- *Costo de operación bajo*

Sus componentes esenciales son:

- *Unidad productora de aire caliente*
- *Sistema de atomización*
  
- *Cámara de secado*
- *Sistema de recolección*

#### 5.7.6 Secador de lecho fluidizado

Es un tipo de secador por transporte neumático. Se sopla aire hacia arriba y a través de las partículas de alimento con la fuerza exacta requerida para mantenerlas suspendidas y moviéndose suavemente. El aire caliente se introduce a través de una placa porosa que sostiene el lecho lleno de gránulos. El aire húmedo se escapa por la parte superior. El proceso es continuo y el tiempo de permanencia de las partículas en el secador puede ser regulado por el ajuste de la profundidad del lecho y por otros medios. Este tipo de secado se puede utilizar para deshidratar granos, chícharos y otros alimentos en forma de partículas. ( Ref. 1 )

## 5.8 Valor alimenticio y composición del banano

Es una fruta de especiales cualidades, ya que contiene un complejo de *vitaminas, azúcares, proteínas, almidón y sales minerales* que integran su composición.

Contiene fructosa (azúcar de la fruta) la cual varía según procedencia y grado de madurez de la fruta. Además, contiene *calcio y magnesio (elementos reconstituyentes) y fosfatos*, los cuales proporcionan al organismo *fósforo asimilable y proteínas análogas a las de la carne y aminoácidos*.

De igual manera abunda en vitaminas A, D, C, B<sub>12</sub>, formando un complejo de alto valor *antiraquíutico* y contribuye al fortalecimiento del sistema óseo por fijación del *calcio*. También es un poderoso *antiescorbútico* y *generador de energía* en el organismo humano. Su riqueza en vitamina B<sub>12</sub> lo clasifican como *gran nutrimento del sistema nervioso*. *Aporta fósforo al cerebro en forma de fosfatos naturales*. Muy recomendado por los médicos para revitalizar la memoria.

El banano conservará todas sus propiedades vitamínicas siempre y cuando no sea sometido en el proceso a temperaturas de 100 °C, ya que si sobrepasa dicha temperatura se altera su composición. (Ver apéndice 2)

## 6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 6.1 Descripción del proceso

#### I Material y equipo

##### A : Materia prima

1.- Banano de rechazo, cultivado en el departamento de Izabal .

##### B : Reactivos químicos

- Bisulfito de sodio
- Ácido cítrico
- Ácido málico
- Ácido ascórbico

##### C: Equipo de proceso

- Unidad de secado propiedad de "Del Ave S.A."; tipo secador por aspersión cuya descripción se acompaña en el diagrama.
- Caldera marca Power Master, de 100 Hp.
- Tanque de acero inoxidable.
- Agitador

## **D : Materiales utilizados**

- Banano de rechazo cultivado en el departamento de Izabal
- Sacos de polietileno
- Bolsas de polietileno
- Cajas de cartón
- Cuchillos de acero inoxidable
- Agua potabilizada del chorro
- Jabón , detergente
- Esponjas
- Balanza de precisión marca METTLER, MODELO METTLER AE 200

## **6.2 Unidad experimental**

- Se utilizan tres tipos de banano: verde, camagüe y maduro. Se compran 300 libras de banano por cada tipo de madurez utilizado.
- Las muestras utilizadas fueron sometidas al siguiente proceso:
  - Selección
  - Lavado
  - Inmersión en una solución de bisulfito de sodio al 0.02%
  - Pelado
  - Inmersión en una solución de bisulfito de sodio al 0.02%
  - Troceado

- ❑ Adición de preservante bisulfito de sodio y ácido cítrico
- ❑ Homogenización
- ❑ Introducción al equipo de secado por aspersión
- ❑ Obtiención de harina de banano
- ❑ Empacado

### 6.3 Metodología experimental

Se realizaron pruebas con tres repeticiones para cada tipo de madurez de banano, agregándole el 20% , 40% y 60% en peso de agua según el peso de la pulpa.

### 6.4 Método

- Determinación del problema: existencia del banano de rechazo en gran cantidad.
- Búsqueda de alternativas de solución al problema: optimización del proceso de obtención de harina de banano con tecnología existente en el país.
- Se emplearán bananos de rechazo procedentes de una misma bananera y comprados en un mismo depósito en la terminal de Guatemala.
- Se realizarán varias corridas utilizando banano a diferentes grados de madurez. Los cuales llevan el siguiente proceso: lavado, sulfitación, pelado, formación de puré. El puré se introduce al equipo de aspersión

## 6.5 Manejo del experimento

Se compran 300 libras de banano de rechazo cultivado en Izabal, por cada tipo de madurez utilizado, se selecciona el banano, se lava, se sumerge en una solución de bisulfito de sodio al 0.02%, se pela, se trocea, se pesan 164 lbs. de pulpa, se homogeniza la mezcla, se realizan tres corridas, a las cuales se les agrega agua en un 20%, 40%, 60% en peso respecto a la pulpa, se les agrega bisulfito de sodio en un 0.02 % en peso como preservante, se les agrega 1000 ppm de ácido cítrico, ácido málico, ácido ascórbico, se homogeniza la mezcla, luego se bombea al equipo de aspersion, se obtiene harina, el material obtenido se pesa y se empaca. Se realiza el mismo procedimiento para cada grado de madurez del banano utilizado en este proceso.

## 6.6 Descripción del método

Se realiza el mismo método experimental para cada tipo de madurez de banano (verde, camagüe, maduro), en total se realizan tres corridas por cada nivel de maduración, haciendo un total de nueve repeticiones del experimento. Se aplican análisis químicos y sensoriales solamente al harina en el nivel de maduración del banano en el cual se obtiene el mayor rendimiento en el proceso.

- Compra del banano. Tres quintales para cada grado de madurez (verde, camagüe, maduro)
- Selección del banano
- Lavado del banano



- Inmersión del banano en una solución de bisulfito de sodio al 0.02%
- Pelado y troceado del banano
- Inmersión del banano pelado y troceado en una solución de bisulfito de sodio al 0.02 %
- Pulpeado del banano para formar un puré
- Pesado del puré de banano 164 lbs.
- Agregar ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido málico a 1000 p.p.m según el peso del puré.
- Homogenización.
- Se agrega agua en un 20%, 40%, 60% según el peso del puré, teniendo para cada corrida 32.8 lbs. de agua, 65.6 lbs. de agua, 98.4 lbs de agua, respectivamente.
- Introducción del puré en el equipo de secado.
- Secado.
- Obtención de harina.
- Análisis .
- Empaque.
- Almacenamiento.

## 6.7 Cálculos

### 6.7.1 Porcentaje de agua agregado

Se compran tres quintales de banano, equivalentes a 300 libras de banano, se pelan y se obtiene:

Peso sólo cáscara = 136 lbs.

Peso sólo pulpa= 164 lbs.

Se toma como base las 164 lbs. de pulpa y se procede a sacar el porcentaje de la muestra en peso, para el 20%, 40%, 60%. Teniendo como resultado 32.8 lbs, 65.6 lbs.,98.4 lbs. de agua respectivamente.

#### ❖ Balance de masa

Se realiza un balance de masa de la siguiente manera:

Entra= Sale (Ec. 1)

Entra= pulpa (164 lbs) + agua agregada

Sale= agua evaporada + harina de primera + harina de segunda+ pérdidas en el equipo + cenizas

Para la corrida 3 se tiene (banano verde y 60% de agua agregada)

Entra = 164 lbs. de pulpa + 98.4 lbs. de agua agregada = 262.4 lbs. totales.

Sale = 198.44 lbs. de H<sub>2</sub>O evaporada + 42.6 lbs. de harina de primera + 12.82 lbs. de harina de segunda + 8.02 lbs. de pérdidas en el equipo + 0.52 de cenizas = 262.4 lbs. totales.

Por lo tanto se cumple la ecuación 1, se realizan los mismos cálculos para las demás corridas del experimento.

#### 6.7.2 Porcentaje de producto obtenido base húmeda

Se sabe que al trabajar en base húmeda se tiene el 100 % de eficiencia al recuperar el 38.8% en peso del puré introducido al secador. El producto obtenido en este proceso, tendrá un 11% de humedad.

Para la corrida 1 de banano verde y 20% en peso de agua agregada, se tienen 197.19 lbs. de puré introducidas al secador y se tiene a la salida 31.16 lbs. de harina de primera + 5.3 lbs. de harina de segunda. Se suman las cantidades de harina obtenidas y se aplica la siguiente ecuación:

(Lbs. harina de 1ra + lbs. de harina de 2da./ lbs. de puré introducidas al equipo) \* 100 = Porcentaje de producto obtenido base húmeda.

Para la corrida 1 se tiene:

32.16 lbs. de harina de 1ra.+ 5.3 lbs. de harina de segunda= 37.46 lbs de harina totales.

$37.46 \text{ lbs. de harina totales} / 197.19 \text{ lbs. de puré} = 0.19 * 100 = 19\%$  = porcentaje de producto obtenido base húmeda.

Se calcula el porcentaje de producto obtenido en base húmeda de igual manera para las demás corridas experimentales.

### 6.7.3 Libras de harina obtenidas base húmeda

Es la suma de las harinas de primera y la de segunda al final del experimento. Estas sumas se realizan al salir el harina del equipo de secado y pesarlas para luego sumarlas.

### 6.8 Evaluación sensorial. Método analítico. Prueba de comparación por pares

Se utilizan pares de muestras codificadas las cuales se dan a cada panelista. Siendo una muestra atol de banano verde y la segunda muestra atol de harina de banano verde. La pregunta formulada a cada panelista es si existe diferencia en el sabor entre las dos muestras dadas. La posición de las muestras es al azar. El tamaño de la muestra es de 40 panelistas.

## **6.9 Análisis químico. Análisis proximal**

Se realiza un análisis proximal a la muestra de harina de banano verde.

## 7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el diseño experimental se utilizó el método de Tuckey, dicho método de análisis estadístico se encuentra incorporado en el programa SAS para Windows versión 95 ó 98, el cual se puede conseguir en la Facultad de Ingeniería en el departamento de Estadística o bien en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En este método se hace un análisis de los datos generados por un experimento multivariable (dos variables para este caso en particular), ordenando los datos en forma de bloque y tratamiento. Introduciendo los datos al programa se tiene como resultado dos tablas la primera es la tabla ANOVA y la segunda la tabla de resultados de Tuckey.

### TABLA I ANOVA

Tabla I. Resultados obtenidos de los experimentos realizados utilizando como parámetro de medición estadística el método de Tuckey

Variable Dependiente: HP: cantidad de harina obtenida

Source	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F Value	Pr > F
Model	4	1270.046	317.511528	10.68	0.0207
Error	4	1118.95			
Corrector Total	8	1389.0016	29.738878		

Ho	R-Square	CV	Root MSE
32	0.914359	17.50358	5.433336

DF = número de grados de libertad

HP = variable dependiente

Source = fuente

Model = modelo (variación de medias muestrales)

Error = error

Corrected Total = corrección total

Sum of Squares = suma de cuadrados de tratamientos

Mean Square = suma de cuadrados de bloques

F Value = medias de los bloques (valor de Fisher)

PR > F = niveles de significación observados

F = probar la igualdad de las medias de los bloques y los tratamientos

Root MSE = suma de cuadrados del error = variación sin explicar

Ho = hipótesis nula

R Square = diferencia entre las estimaciones medias para los tratamientos (estimadores)

## TABLA II TUCKEY

Tabla II. Comparación de los resultados obtenidos experimentalmente según el grado de madurez del banano utilizando el método de Tuckey

Tuckey Grouping	Mean	N TRAT
A	43.733	3
A	28.457	3
A	21.277	3
B		
B		

### Tuckey Grouping

A	56.440	3	1
B	39.943	3	2
B	28.493	3	3
B			

Tuckey Grouping = grupo Tuckey

Mean = inferior

N TRAT = número de tratamiento (1 = banano verde, 2 = banano  
camagüe, 3 = banano maduro)

A, B = diferencias de nivel

### TABLA III

Evalauación sensorial. método analítico. Prueba de  
comparación por pares

No. de panelistas	Si detectó diferencia	No detectó diferencia
40	16	24

probabilidad = 0.001  
nivel = 0.05



## 8. RESULTADOS

**Tabla IV**

**Porcentaje producto obtenido base húmeda banano verde**

<b>% H<sub>2</sub>O</b>	<b>% Producto Obtenido</b>
20	19
40	36
60	26

**Tabla V**

**Porcentaje producto obtenido base húmeda banano camagüe**

<b>% H<sub>2</sub>O</b>	<b>% Producto Obtenido</b>
20	13.95
40	24.65
60	16.37

**Tabla VI**

**Porcentaje producto obtenido base húmeda banano maduro**

<b>% H<sub>2</sub>O</b>	<b>% Producto Obtenido</b>
20	10.1
40	15.37
60	13.45

**Tabla VII**  
**Lbs. Harina obtenida base húmeda banano verde**

<b>% H2O</b>	<b>Lbs. Harina Obtenida</b>
20	31.16
40	59.04
60	42.64

**Tabla VIII**  
**Lbs. Harina obtenida base húmeda banano camagüe**

<b>% H2O</b>	<b>Lbs. Harina Obtenida</b>
20	13.95
40	24.65
60	16.37

**Tabla IX**  
**Lbs. Harina obtenida base húmeda banano maduro**

<b>% H2O</b>	<b>Lbs. Harina Obtenida</b>
20	10.1
40	15.37
60	13.45

**TABLA X**  
**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO. HARINA DE BANANO VERDE**

Conteo total	< 3
Coliformes totales	negativo
Escherichia Coli	negativo
Salmonella Sp	negativo
Shigella Sp	negativo
Staphylococcus	negativo

**TABLA XI**  
**ANÁLISIS PROXIMAL. HARINA DE BANANO VERDE**

Humedad	11%
Proteína cruda total	1.8%
Grasa total	0.3%
Carbohidratos	85 %
Cenizas	1.5%
Indeterminado	<u>0.4%</u>
TOTAL	100%

**TABLA XII**  
**ANÁLISIS FUNCIONAL**

Banano	Equivalencias
1 banano	30 gr. de harina de banano + 85 ml. de agua.

Se obtiene un vaso de atol de banano

**TABLA XIII**  
**ANÁLISIS DE REGRESIÓN LOGARÍTMICA**

Se obtiene la ecuación:

$$Y = -4.78 + 13.64 \ln x.$$

Donde x es la cantidad de puré de pulpa a deshidratar.  
Con una correlación del 0.95%.

## 9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al deshidratar un alimento se elimina el agua del mismo casi por completo por medio de un secado artificial bajo control. Se utiliza el secado por aspersión o spray dryer, el enfriamiento por evaporación de las partículas hace que la temperatura no exceda los 83 ° C, para el caso particular de éste método, el banano no debe ser sometido a una temperatura mayor de los 100 ° C o el alimento se desnaturaliza (pierde sabor, olor, color, vitaminas y minerales).

El secador por aspersión produce una calidad muy alta en los materiales que son sensibles al calor y procesan más toneladas de productos alimenticios que puedan ser bombeados en forma de líquidos al equipo.

Se utilizan discos en lugar de boquillas en el equipo de secado, ya que un puré de pulpa muy fina no puede pasar por una boquilla a una presión alta, pero si pasa fácilmente por un disco a alta velocidad.

Al realizar el puré de pulpa de banano, fue necesario adicionarle agua para disminuir su viscosidad y hacer más fácil su bombeo hacia el equipo de deshidratado, como se puede observar en las tablas cuatro a trece y en las figuras uno y dos, se obtiene un máximo rendimiento al adicionar un 40% en peso de agua al puré de pulpa de banano, dicho fenómeno se repite para cada nivel de maduración del banano verde, camagüe y maduro.

Adicionando un 20% en peso de agua al puré de pulpa de banano se tiene un líquido denso difícil de bombear y de ser asperjado por el equipo, provocando taponamiento en los discos, dicho taponamiento es más severo mientras aumenta el nivel de maduración del banano.

Agregando el 60% en peso de agua se tiene un fluido con una viscosidad muy baja, el cual al mantener las mismas condiciones de operación en el equipo, hace el proceso ineficiente en los tres niveles de maduración, ya que el equipo se ve forzado a eliminar el exceso de agua presente en el puré, presentándose el problema más grave con el banano maduro, cabe mencionar que las condiciones del equipo no pueden ser alteradas por ser el banano un alimento termolábil.

Comparando los rendimientos de las tablas cuatro, cinco y seis se observa que el mayor porcentaje de producto obtenido se tiene con el banano verde con un 40% en peso de agua agregada da 36 % de producto obtenido, el rendimiento es más alto ya que su mayor componente es el almidón el cual no sufre de caramelización al ser sometido a altas temperaturas, si se compara el rendimiento del banano camagüe para la misma cantidad de agua agregada se tiene un 24.65 % de producto obtenido y para el banano maduro un 15.37 % de producto obtenido.

Se explica la gran diferencia de porcentajes de rendimiento entre los tres niveles de maduración de la fruta de la siguiente manera: la fruta al estar más madura contiene mayor cantidad de fructosa, la cual al ser sometida a altas temperaturas sufre de caramelización; es decir, forma una sustancia termoplástica la cual se adhiere a las paredes del equipo formando una masa chiclosa.

Obsérvese que el máximo rendimiento obtenido en la figura 1 corresponde para el tipo de maduración de banano verde, con un 40% en peso de agua adicionado, teniendo un rendimiento del 36%.

En la figura dos, se observa que la mayor cantidad de libras de harina obtenidas 59.04 corresponde para el banano verde con un 40% en peso de agua agregada. Para el banano maduro el puré contiene un mayor porcentaje de fructosa, provocando que aún cuando las partículas estén secas, que éstas se derritan y se adhieran a la pared del equipo formando costras chiclosas, las cuales se traducen como pérdidas en el equipo, obteniendo 15.37 lbs. de harina como máximo. Para el banano camagüe se tienen 24.65 lbs. de harina obtenidas como mayor rendimiento, se explica ya que es el término medio entre los dos extremos de maduración del banano, dicha cantidad de harina obtenida, hace que el proceso utilizando banano camagüe sea ineficiente, por ser muy bajo el rendimiento de producto obtenido.

El harina obtenida se deja con un 11 % de humedad. En el caso de obtener un 100% de eficiencia en el proceso, el máximo porcentaje de rendimiento sería un 38.8 %. Se observa en la tabla tres y en la figura uno, para el caso del banano verde con un 40% en peso de agua agregada que el rendimiento es de 36%, razón por la cual se puede catalogar el proceso de deshidratación de banano verde pelado por el método de aspersión de excelentes resultados.

Por los resultados experimentales obtenidos se recomienda para éste caso en particular de deshidratación trabajar con banano verde, dicha recomendación se respalda en el análisis estadístico ANOVA y el método de

Tuckey, donde se observa en las tablas uno y dos que estadísticamente si existe una diferencia significativa en el nivel de madurez de banano que se utiliza y la cantidad de harina obtenida. El rendimiento es inversamente proporcional al grado de madurez del banano. Según el análisis de regresión logarítmica con una correlación del 0.95 y la ecuación  $Y = -4.78 + 13.64 \text{ Ln } x$ , donde  $x$  es la cantidad de puré de pulpa a deshidratar (tabla XII).

Dicha correlación se obtiene en programa incorporado de una calculadora Casio FX-880 P, introduciendo los datos obtenidos en los resultados experimentales (tablas III-VIII).

La evaluación sensorial se realiza solamente al harina de banano verde con un 40 % en peso de agua agregada, por ser el harina que tiene mayor rendimiento. Se aplica el método analítico y la prueba de comparación por pares a 40 panelistas de los cuales 16 si notaron la diferencia entre el atol de banano verde y el atol de harina de banano verde y 24 panelistas no notaron la diferencia entre ambos atoles, se tiene una probabilidad del 0.001 y un nivel del 0.05 (tabla III) de lo cual se concluye que no existen diferencias estadísticas significativas en la prueba sensorial realizada, catalogando el producto no diferente al atol realizado en la forma tradicional.

En el análisis funcional se determina que un banano verde es equivalente a 30 gr. de harina de banano + 85 ml. de agua, dando como resultado un vaso de atol de banano.

Por ser el harina de banano obtenida un material altamente hidrocópico se recomienda utilizar como empaque primario bolsas o sacos de polietileno y como empaque secundario cajas de cartón.



La vida útil del harina obtenida puede variar según las condiciones de manejo, pero ésta se encuentra entre 6 a 9 meses, según las temperaturas a las cuales se vea sometida, ya que el sulfito que se agrega como preservante es sumamente volátil.

Los residuos del proceso (cáscara y fruta dañada) , se pueden utilizar como alimento para animales ( forraje ).

El harina de banano verde se puede utilizar en panadería , repostería, alimentos para bebés (papillas), atoles, como fuente de almidón (carbohidrato) en concentrados animales (ideal para crianza de camarones).

## CONCLUSIONES

- 1) Es factible optimizar técnicamente el proceso de deshidratación para la obtención de harina de banano por el método de aspersion al disminuir el grado de madurez del banano pelado.
- 2) El porcentaje de rendimiento es inversamente proporcional al grado de madurez del banano. Según el análisis de regresión logarítmica con una correlación del 0.95 y la ecuación  $Y = -4.78 + 13.64 \ln x$ , donde  $x$  es la cantidad de puré de pulpa a deshidratar.
- 3) Para este caso particular de secado, no es factible trabajar con banano maduro.

## RECOMENDACIONES

- 1) Al Ministerio de Agricultura, Al sector Agro-industrial del país o bien a organizaciones como ONG's, implementar una planta en la cual se pueda procesar el excedente de banano a nivel nacional. Para darle un valor agregado al producto.
- 2) Estudiar más a fondo, el impacto económico que tendría en Guatemala, la exportación de banano en forma de harina, y la cantidad de divisas que generaría este proceso.
- 3) Al sector gobierno incluir el atol de banano en los desayunos escolares, como alternativa de nutrición a bajo costo. Debido a que en los análisis obtenidos se observa que dicha harina tiene un alto contenido de carbohidratos y almidón.
- 4) Utilizar en la crianza de camarones, harina de banano verde, obtenida por este proceso, debido a sus altos contenidos de almidón.
- 5) Utilizar la cáscara de banano, seca y triturada para forraje de animales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) **Cristie Geankoplis. Procesos de transporte y operaciones unitarias. ( 2 da. edición, México: Editorial Continental, 1995), pp.435-482.**
- 2) **Teodor Labuza. Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. ( Estados Unidos: Critical reviews in food technology (CRC), 1992) pp. 217-240**
- 3) **Gilbert Reed. Enzymes in food processing. (Estados Unidos: Academic Press, 1996), pp. 85-110.**
- 4) **Etal Mowlah. Water transport mechanism and some aspects of quality change during air dehydration of bananas. (Estados Unidos: International Journal for food technology and engineering, 1990), pp. 300-375.**
- 5) **Carmela Velásquez. Aprovechamiento efectivo de pulpas tropicales. (Costa Rica: Centro de investigaciones en tecnología de alimentos (CITA), 1993), pp. 17-32.**

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Bustamante Marta. *¿Cómo secar frutas?*. Costa Rica: Centro de investigaciones en tecnología de alimentos (CITA), 1993.
- 2) Formoso Antonio. *Manual Formoso*. España: La Coruña, 1995.
- 3) Geansoplis Cristie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 2da. edición, México: Editorial Continental, 1995.
- 4) Labuza Teodor. *Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods*. Estados Unidos: Critical reviews in food technology (CRC), 1991
- 5) Mc. Bean Joselyn. *Dehydrated fruit*. Estados Unidos: Academic Press, 1991.
- 6) Mowlah Etal. *Water transport mechanism and some aspects of quality change during air dehydration of bananas*. Estados Unidos: Mc Hill, 1997.
- 7) Velásquez Carmela. *Aprovechamiento efectivo de pulpas de frutas tropicales*. Costa Rica: Centro de investigaciones en tecnología de alimentos (CITA), 1993.
- 8) Van Arsdel Copley. *Foods dehydration*. Estados Unidos: The AVI publishing Co., 1994.

## APÉNDICES

Figura 1. Comparación de porcentajes de rendimiento obtenidos de banano verde, camagüe y maduro.

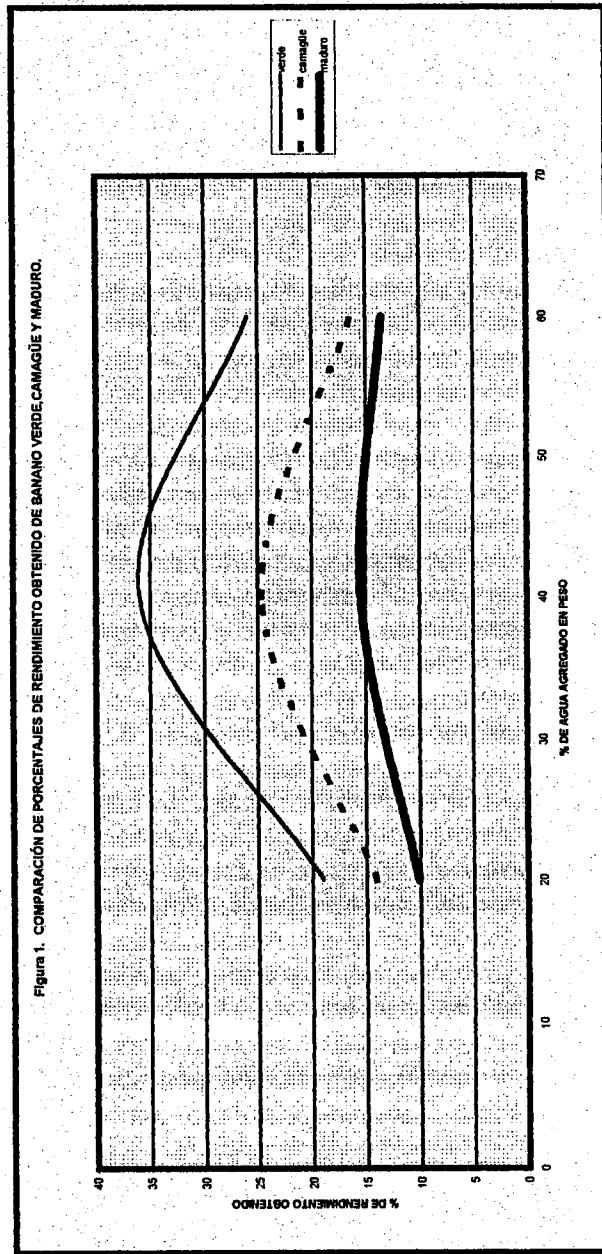
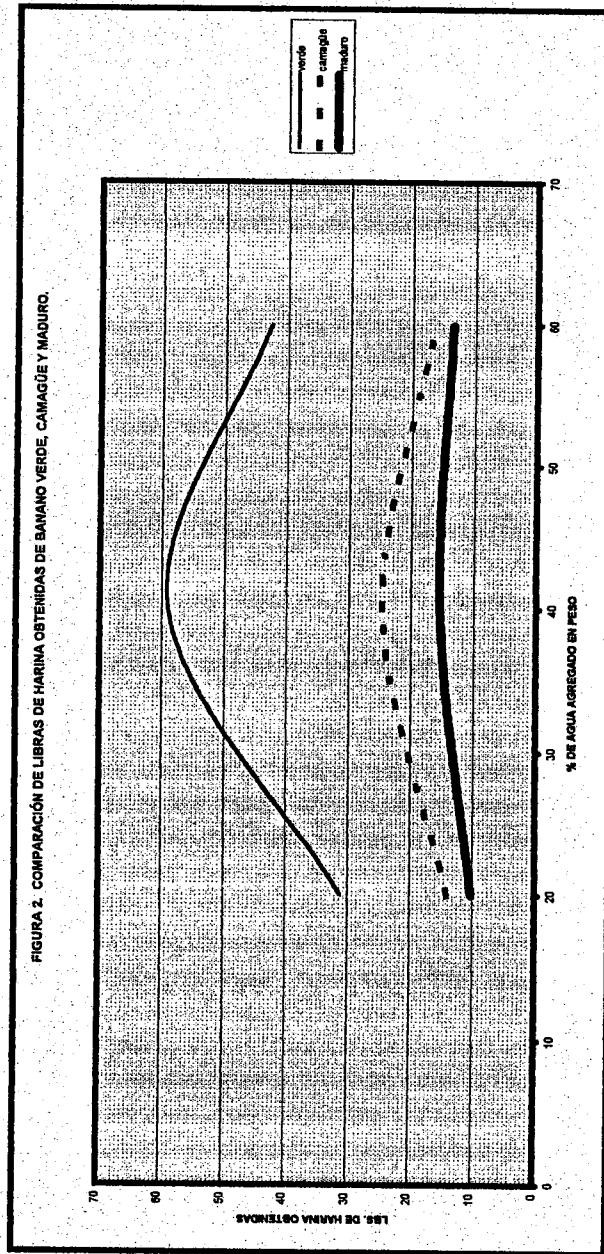


Figura 2. Comparación de libras de harina obtenidas de banano verde, camagüe y maduro.





## TABLAS REFERENTES AL BANANO

TABLA XIV. COMPOSICION DEL BANANO  
(LA DE MAYOR CULTIVO EN GUATEMALA)

Composición del banano ( *Musa Cavendishi*, *Gran Naine* ), por 100  
gr. de porción comestible:

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
Valor energético	Cal.	97
Humedad	%	72.2
Proteína	Gr.	1.1
Grasa	Gr.	0.1
Carbohidratos	Gr.	25.5
Fibra	Gr.	0.4
Ceniza	Gr.	1.0
Calcio	Mg.	10
Fósforo	Mg.	27
Hierro	Mg.	0.4
Vitamina A	Mg.	30
Tiamina	Mg.	0.04
Riboflavina	Mg.	0.05
Niacina	Mg.	0.6
Acido Ascórbico	Mg.	14

## TABLAXV. VITAMINAS Y MINERALES DEL BANANO

Vitaminas y minerales del banano, Variedad Valery en 100 gr. de porción comestible:

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
Calcio	mg.	8
Fósforo	mg.	28
Hierro	mg.	0.6
Cloro	mg.	78 - 125
Yodo	mg.	0.02
Magnesio	mg.	0.64 - 0.82
Potasio	mg.	300 - 450
Sodio	mg.	0.006 - 0.415
Azufre	mg.	13
Zinc	mg.	0.28
Cobre	mg.	0.16 - 0.21
Vitamina A	U.I.	430
Acido Ascórbico	mg.	10
Tiamina	mg.	0.04
Riboflavina	mg.	0.05
Niacina	mg.	0.7
Piridoxina	mg.	0.52
Acido Pantoténico	mg.	0.306
Acido Fólico	mg.	0.01
Inositol	mg.	34
Biotina	mg.	0.004

**Tabla XVI. Exportaciones Mundiales de Banano, de los cinco países principales productores( en miles de toneladas)**

País/año	1994	1995	1996	1997
Ecuador	2 768	3 737	3 842	4 550
Costa Rica	1 819	2 033	1 933	1 940
Colombia	1 477	1 335	1 407	1 491
Filipinas	1 044	1 213	1 253	1 255
Guatemala	492	646	611	630

**Tabla XVII. Importaciones a Nivel Mundial de los cinco países principales consumidores. ( En toneladas).**

País/año	1994	1995	1996	1997
EEUU.	3 199	3 266	3 368	3 300
CE	3 184	3 107	3 158	3 412
Japón	873	874	819	880
URSS	264	730	431	600
Canadá	382	400	408	415