



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS TABASCO

PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**“ELABORACIÓN DE HARINA DE 3 VARIEDADES DE PLÁTANO
VERDE (*MUSA SPP*) Y SU USO COMO MATERIA PRIMA PARA LA
PANIFICACIÓN”**

M.V.Z ERIKA JIMENEZ MARQUEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO


2012

La presente tesis, titulada: **“Elaboración de harina de 3 variedades de plátano verde (*Musa spp.*) y su uso como materia prima para la panificación”**, realizada por la alumna: **Erika Jiménez Márquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRIA EN CIENCIAS

POSGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

ASESOR (A): 

DR. ADOLFO BUCIO GALINDO

ASESOR (A): 

DR JUAN MANUEL ZALDÍVAR CRUZ

ASESOR (A): 

DR EMILIO MANUEL ARANDA IBÁÑEZ

ASESOR (A): 

DRA LIBIA IRIS TREJO TÉLLEZ

ASESOR (A): 

DRA MARÍA ADELFA APARICIO TRÁPALA

H. Cárdenas Tab, 24 de octubre 2012

RESUMEN

En México y otros países, durante el manejo la cosecha, una fracción de los racimos de plátano se desprende y se pierde, generando problemas ambientales. Algunas alternativas para reducir esos desechos son la producción de harinas de plátano verde; pues, representan una fuente alternativa para la obtención de almidón, que actualmente se obtiene de maíz y papa. El almidón es uno de los nutrientes más importantes por su alto valor energético. Existen fracciones de almidón denominadas almidón resistente que no producen energía digestible, ya que resisten a la hidrólisis enzimática, no se absorben y tienen propiedades similares a la fibra. El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una caracterización fisicoquímica, nutricional y funcional de harinas y hot cakes utilizando tres variedades de plátano verde *Musa paradisíaca* variedad Macho, *Musa balbisiana* variedad Cuadrado y *Musa plantain* variedad Manzano que se compararon con harinas convencionales de trigo para hacer hot cakes. Se evaluó la materia prima (plátanos), harina y hot cakes. Las variables de medición de la materia prima fueron: pH, acidez y sólidos solubles. A las harinas de plátano y harinas comerciales se evaluaron algunas de sus propiedades químicas, nutricionales y funcionales. A las muestras de hot cakes, se les determinó las características nutricionales y funcionales. En las tres variedades de plátano, no se observaron diferencias en pH, acidez y ° brix. En los minerales las harinas de plátano tuvieron mayor presencia de potasio que en las harinas comerciales. Las harinas de plátano presentaron mayor presencia de carbohidratos que en las harinas comerciales, pero menor cantidad de proteína. La harina de plátano manzano presentó mayor contenido de almidón que la harina de plátano macho y a su vez fue mayor en la harina de plátano cuadrado. Las harinas de plátano presentaron un alto contenido de almidón resistente en comparación con las harinas comerciales. El contenido de almidón resistente disminuyó con la cocción, pero fue mayor que en el trigo. Los hot cakes con harina de plátano presentaron significativamente menor cantidad de grasa (hasta 10 veces menos), pero también menos proteínas. El color del hot cakes de harina de plátanos tiene menos luminosidad pero mayor (a) (rojo) y (b) amarillo que, es una de las mayores limitaciones.

ABSTRACT

In Mexico and other Latin American countries, during the post-harvest of banana, a fraction of the clusters of banana breaks off and are lost by mismanagement of postharvest waste. Some ways to reduce these wastes are the production of green banana flour, which is rich in starch and in resistant starch which can be used in breadmaking. Starch is one of the most energetic nutrient; mostly it is digested and absorbed in the small intestine except for some starch fractions capable of resisting enzymatic hydrolysis which are named resistant starch. This study was aimed to determine the composition of flours, and pancakes by using three varieties of plantain. Measurement variables of raw material were pH, acidity and solids content. Flours of plantain and wheat were analyzed by their chemical, nutritional and functional value. Pancakes were assessed by nutritional and functional characteristics. In three plantain varieties there were not differences in pH, acidity and ° brix. In minerals, plantain had higher content of potassium than commercial flours.

Flours from plantain showed a higher presence of carbohydrates than commercial flours, and less amount of protein

Manzano flour showed the highest content of starch than macho and criollo plantain. Plantain flours showed a higher content of resistant starch in comparison to commercial flours, therefore the consumption of plantain flours may help to reduce the cholesterol from blood and it is an alternative as functional food.

Resistant starch content was reduced by cooking, remaining a higher proportion than in commercial flours for pancakes. Pancakes from plantain had less amount of fat (ten times lower) than pancakes made from commercial flours, and also less protein. The content of potassium was higher in pancakes made from plantain flours than made from commercial flours. Color of pancakes from plantain flour had less luminosity and higher red and yellow content than commercial flours.

DEDICATORIA

DEDICO MI TESIS A:

A DIOS por no abandonarme, por demostrarme que soy uno de tus hijos.... Gracias por ayudarme a levantarme en mis fracasos, por aprender de ellos y principalmente por permitirme realizar una de mis metas.

A mi esposo Leonardo por ser alguien muy especial en mi vida y por demostrarme que en todo momento cuento con el.

A mis padres María Luisa y Abigail por haberme brindado su comprensión y apoyo incondicional, por sus consejos que me orientaron a tomar las mejores decisiones y por creer en mí.

A mi hijo Leonardo Abigail y mi sobrina Valentina, porque me dan fuerza cada día para esforzarme en ser ejemplo en cada etapa de mi vida

A mis hermanas Elizabeth y Alejandra por su apoyo, confianza y amor

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACTY) y la Universidad Autónoma de Tabasco (UJAT), por el financiamiento otorgados para la realización de este estudio de maestría.

Al Colegio de Posgraduados Campus Tabasco por permitirme realizar mis estudios de posgrado dentro del programa de Producción Agroalimentaria en el Trópico.

A mi director de tesis el Dr. Adolfo Bucio Galindo por sus enseñanzas, apoyo, buenos consejos, confianza e incontable tiempo dedicado.

También hacer patente mi agradecimiento al **Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez, Dr. Juan Manuel Zaldívar Cruz, Dra. Libia Iris Trejo Téllez y Dra. María Adelfa Aparicio Trápala; integrantes de mi consejo particular** por sus valiosas aportaciones que me hicieron mejorar la presente investigación. También agradezco al personal que labora en el laboratorio de nutrición animal por su paciencia, atención y tiempo que me brindaron en el lapso que estuve realizando mis estudios de maestría.

Llego al final de esta investigación gracias al infinito apoyo que me otorgaron y al cariño que me inspiran cada día; mis padres Abigail y María Luisa, mis hermanas Elizabeth y Alejandra.; así como a mi esposo Leonardo por su compañía en el momento y lugar exacto.

INDICE

INDICE DE CUADROS	3
INDICE DE FIGURAS	4
INTRODUCCIÓN GENERAL	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
REVISIÓN DE LITERATURA	
Capítulo 1 GENERALIDADES DEL PLÁTANO	
1.1 Generalidades del plátano	10
1.2 Importancia de los plátanos en México	11
1.2.1 Producción nacional de plátano y banano	12
1.2.2 Producción estatal de plátano y banano	14
1.3 Aprovechamiento del plátano	15
1.4 Composición química del plátano	15
1.5 Uso del plátano como harina	19
1.5.1 Composición química de la harina de plátano	20
Capítulo 2 GENERALIDADES DEL ALMIDÓN	
2.1 Generalidades del almidón	22
2.2 Importancia del almidón	23
2.3 Usos del almidón	23
2.4 Producción mundial	24
2.5 Morfología del grano de almidón	24
2.5.1 Componentes estructurales	27
2.5.1.1 Amilosa	28
2.5.1.2 Amilopectina	29
2.6 Propiedades del almidón	29
2.6.1 Gelatinización	29
2.6.2 Retrogradación	31
2.6.3 Absorción de agua	33
2.6.4 Hinchamiento y solubilidad	33
2.6.5 Factores que afectan las propiedades del almidón	34
2.7 Digestibilidad del almidón	36
2.8.1 Digestión del almidón	37
2.8.2 Efectos fisiológicos del almidón en el ser humano	38
2.8.3 Aspectos nutrimentales	39
2.9 Almidón de plátano	40
2.10 Almidón resistente	42
2.10.1 Clasificación del AR	42

2.10.2 Efectos fisiológicos del almidón resistente	44
--	----

Capítulo 3 GENERALIDADES DE LA HARINA

3.1 Generalidades de la harina	45
3.1.1 Características organolépticas	47
3.2 Alimento funcional	49
3.2.1 Beneficios de los alimentos funcionales	50

Capítulo 4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Caracterización de las variedades de plátanos	51
4.2 Obtención de la harina de plátano	51
4.3 Análisis de las variedades de harina	52
4.4 Determinación de minerales	52
4.5 Caracterización de las variedades de las harinas	52
4.5.1 Actividad de agua	52
4.5.2 Color	53
4.6 Características fisicoquímicas de harina	54
4.6.1 Índice de absorción de agua (IAA)	54
4.6.2 Índice de solubilidad en agua (ISA)	54
4.7 Análisis de biodisponibilidad	54
4.7.1 Almidón total	54
4.7.2 Almidón resistente	54
4.8 Elaboración de los hot cakes	55
4.9 Análisis de los hot cakes	55
4.10 Análisis estadístico	55

Capítulo 5 RESULTADO Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de las variedades de plátanos	56
5.2 Rendimiento del plátano	56
5.3 Composición química de las variedades de harinas	56
5.4 Composición de elementos	57
5.5 Caracterización de las variedades de las harinas	58
5.5.1 Porcentaje de actividad de agua	58
5.5.2 Evaluación del color en las harinas	59
5.6. Características fisicoquímicas de las harinas	60
5.6.1 Índice de absorción de agua (IAA).	60
5.6.2 Índice de solubilidad de agua (ISA)	60
5.7 Análisis de biodisponibilidad	61
5.7.1 Análisis de almidones	61
5.8 Composición química de las variedades de los hot cakes	62
5.9 Evaluación del color en los hot cakes	62
5.10 Análisis de biodisponibilidad	63

Capítulo 6 CONCLUSIONES

Capítulo 7 RECOMENDACIONES

Capítulo 8 LITERATURA CITADA

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Distribución de las Musas por hectáreas	11
2	Producción de tipo de plátano en México	12
3	Principales productores de banano y plátano	13
4	Municipios productores de plátano (Producción/Ha)	14
5	Producción de plátano por especie.	15
6	Productos a partir del plátano	15
7	Composición química de plátanos de diferentes variedades	17
8	Cambios de la composición de plátano en la maduración	18
9	Composición química de harinas de plátano verde de diferentes variedades	21
10	Características de almidones usados en la industria alimentaria	22
11	Características de algunos almidones	23
12	Contenido de almidones de amilosa y amilopectina en almidones nativo	28
13	Ejemplos de los tipos de AR presentes en los alimentos	44
14	Composición química de diferentes variedades de harinas	47
15	Caracterización química de las variedades de plátano en comparación con los datos publicados por Ditchfield (2004).	57
16	Valores de composición química en las variedades de harinas	58
17	Composición de minerales de harina de plátano verde y harinas comerciales	59
18	Porcentaje de Actividad de agua (Aw) de harina de plátano verde y harinas comerciales	59
19	Parámetros del color en harinas con el sistema Hunter Lab	69
20	Caracterización fisicoquímica de 3 variedades de plátano y harinas comerciales	60
21	Contenido de almidón total y resistente de harinas de plátano verde y harinas (testigos)	61
22	Valores de composición química en las variedades de hot cakes	62
23	Parámetros del color en los hot cakes con el sistema Hunter Lab	62

24	Contenido de almidón total y resistente de muestras de hot cakes	63
----	--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Patrón de almidón correspondiente al color de la cáscara durante su maduración	19
2	Estructura de gránulos de almidón 1 Trigo, 2 Centeno, 3 Maiz, 4 Arroz, 5 Papa 6 Legumbre	26
3	Estructura química de la amilosa	28
4	Estructura química de la amilopectina	29
5	Gelatinización del almidón	31
6	Representación esquemática de la estructura del almidón retrogrado	33
7	Esquema general para la obtención de harina de plátano verde	53
8	Equipo de medición de actividad de agua (AW)	53
9	Colorímetro Hunter Lab.	53

INTRODUCCION GENERAL

El plátano es originario del Sudoeste Asiático, aunque a lo largo de los años, su cultivo se ha extendido a muchas regiones de Centroamérica y Sudamérica, así como de África Subtropical.

El cultivo de musáceas es de gran importancia debido a su valor nutritivo, donde destaca el contenido de carbohidratos (35%), que en parte son transformados a glucosa, sacarosa y fructosa durante la maduración, (6-7 %de fibra), y la proteína es baja pero el potasio es alto (Novak, 1992).

En México y otros países latinoamericanos, el plátano además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos. De los 12 millones de toneladas de plátano que se producen en el mundo, 10 millones provienen de los países latinoamericanos y del Caribe. En el estado de Tabasco, el plátano (*Musa paradisiaca*) se cultiva en 9,000 hectáreas, con una producción de 315,000 toneladas, con un valor de \$150 millones de pesos, generándose cerca de 3 millones de jornales. INEGI (2005). Durante el manejo post cosecha, una fracción de los racimos de plátano se desprende y se pierde (Ovando-Martínez *et al.*, 2006). Se ha calculado que hasta un quinto del total de la producción mundial se pierde por el mal manejo **poscosecha**; los residuos si no se desechan adecuadamente generan problemas ambientales y degradación microbiana constituyendo un reservorio de patógenos que pueden infectar a plantas sanas (Zhang *et al.*, 2005). Cuando los plátanos son desechados al agua generan alta demanda bioquímica de oxígeno, reduciendo las poblaciones de animales acuáticos (Zhang *et al.*, 2005).

Algunas alternativas para reducir esos desechos son la producción de harinas de plátano verde con el fin de utilizarse en la producción de concentrado animal y otros productos que se podrían desarrollar para consumo humano. Evidencias científicas demuestran que los frutos de plátano en estado verde representan una fuente alternativa no convencional para la obtención de almidón ya que contiene entre el 70 y 80% de almidón en base seca, el que es un porcentaje comparable con el que se encuentra en el endospermo del grano de maíz y de la pulpa de papa (Zhang *et al.*, 2005). Desde el punto de vista

tecnológico los gránulos de almidón del plátano tienen menor capacidad de hincharse y menor solubilidad, estas propiedades sugieren que los gránulos tienen una estructura más densa y más fuertemente unida (*Waliszewski et al.*, 2003).

En consecuencia la harina de plátano puede ser usada como ingrediente hasta un 30% en substitución de harina comercial para fabricar pastas de fideos (Choo y Aziz, 2010) y hasta un 100% en productos de panificación (Juárez García *et al.*, 2006). Su valor de aceptación en la población es raramente estudiado (Choo y Aziz, 2010) y generalmente los productos a base de harina de plátano no se encuentran en el mercado (Zhang *et al.*, 2005).

El valor científico y tecnológico de los estudios de uso de harina de plátano en la industria panadera ha consistido en demostrar que la harina del plátano y muchos de sus productos procesados contienen algunos compuestos bioactivos más allá de los nutricionales que la hacen atractiva (Zhang *et al.*, 2005). Desde el punto de vista ecológico, recientes estudios se han enfocado al uso del almidón con el propósito de incorporarlo a los plásticos, promoviendo de esta manera nuevos materiales biodegradables (Delville *et al.* 2002). El principal de estos compuestos es el almidón resistente.

El almidón es el nutriente de mayor consumo que si digiere y se absorbe en el intestino delgado con excepción de fracciones de almidón capaces de resistir la hidrólisis enzimática (Englyst *et al.* 1992, Trovar y Melito 1996). Estas fracciones son conocidas como almidón resistente, definido como la suma de almidones y productos de degradación del almidón que no se absorben en el intestino delgado de individuos sanos (Asp *et al.*, 1996). Los almidones resistentes no son digeridos en el intestino delgado y la ingesta ha permitido establecer algunas implicaciones fisiológicas estimulando el crecimiento de cierta microbiota del intestino grueso que genera biomasa y produce ácidos grasos de cadena corta como el butirato, que reducen el pH. El butirato estimula la producción de mucus y facilita el tránsito intestinal (Asp *et al.*, 1996). Los almidones resistentes además tienen bajo índice glucémico, y su consumo no estimula la producción de insulina (Juárez-García *et al.*, 2006). Su efecto laxante contribuye a eliminar los desechos del metabolismo. Se ha observado que evacuaciones fecales poco frecuentes y tiempo largo de residencia

intestinal de compuestos genotóxicos se asocian con cánceres de colon. El consumo de almidón resistente estimula el metabolismo de excreción de las sales biliares y se asocia con una reducción de colesterol (Asp *et al*, 1996).

La relación entre dieta y salud es cada vez más evidente, la importancia de la presencia de almidón resistente en la dieta es fundamental en sus efectos en la prevención de enfermedades crónicas debido a que estudios epidemiológicos demostraron que se correlaciona con la baja incidencia de diabetes, hipertensión arterial, obesidad y sobrepeso problemas actuales en la población humana que se pueden reducir con el consumo de productos con almidón resistente como los de harina de plátano (Bello-Pérez *et al*, 2001).

Uno de los alimentos que no se ha fabricado a partir del plátano son las harinas para hot cakes. Este tipo de harinas es popular y llevan a la producción casera de un alimento muy nutritivo por su contenido de huevo, leche y harina de trigo. Un valor adicional a este producto sería el contenido de almidón resistente. El objetivo general de la investigación fue determinar la composición química proximal y el contenido de almidón total y resistente de las harinas de plátano verde y en hot cakes preparados con esas harinas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas asociados a la alimentación como son el sobrepeso, diabetes y la obesidad, que desencadenan en enfermedades, ha motivado el desarrollo de alimentos con bajo contenido de carbohidratos digeribles. Uno de estos carbohidratos es el almidón resistente, que se encuentra en gran cantidad en el plátano verde. El plátano verde además es un recurso regional, y que en ciertas épocas es muy barato. Además es una fuente alternativa para la obtención de almidón y para la obtención de harinas para productos procesados a base de almidón (panadería, pastas, sopas). Desde el punto de vista de la salud, el plátano verde ha cobrado gran interés durante los últimos años pues se le ha etiquetado como agente terapéutico; las variedades *Musa paradisíaca* variedad Macho, *Musa balbisiana* Colla variedad Cuadrado y *Musa plantain* variedad Manzano han mostrado las mejores características en cuanto a las propiedades fisicoquímicas, funcionales y baja digestibilidad de su almidón (Zhang *et al.*, 2005). Sin embargo, hasta el momento no se ha estudiado el uso de una harina de plátano en estado verde, como un ingrediente que contenga carbohidratos funcionales en los hot cakes.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar una caracterización fisicoquímica, nutricional y funcional de harinas y hot Cakes utilizando tres variedades de plátano verde: *Musa paradisíaca* variedad Macho, *Musa balbisiana* variedad Cuadrado y *Musa plantain* variedad Manzano.

Objetivos específicos

- Determinar la composición químico proximal de las harinas de plátano de 3 variedades y harinas comerciales para hot Cakes.
- Elaborar hot cakes a base de las harinas de las variedades *Musa Paradisíaca* variedad Macho, *Musa balbisiana* variedad Cuadrado y *Musa plantain* variedad Manzano y con harinas comerciales para hot Cakes y evaluar su contenido nutricional.
- Determinar el contenido de almidón total y resistente en las harinas de plátanos, harinas comerciales y en los hot cakes preparados con ambos tipos de harinas.

REVISIÓN DE LITERATURA

CAPITULO I

1.1 Generalidades del plátano

El plátano es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia *Musáceae*, del orden Zingiberales con dos géneros *Musa* con frutos comestibles y *Ensete* con frutos no comestibles. El género *Musa* se divide a su vez en cuatro subgéneros, de los cuales, el subgénero *Eumusa* es el grupo más grande y el mayor distribuido geográficamente.

Es originario del Sudoeste Asiático, aunque a lo largo de los años, su cultivo se ha extendido a muchas regiones de Centroamérica y Sudamérica, así como de África Subtropical. Este híbrido se llega a consumir en algunas ocasiones en estado inmaduro o verde en determinados platillos típicos; en forma de rodajas fritas o asada, ya sea enteros o en rebanadas (Escobar, 1982)

Los plátanos al igual que otras frutas (manzana, durazno y peras) son muy susceptibles a oscurecimiento enzimático, factor muy importante en algunos productos mínimamente procesado y que se relaciona con el cambio de color en la superficie de corte, ocasionado por el rompimiento de las células (Rolle y Chism, 1987). El cambio de color en muchos casos se ha atribuido a la oxidación y polimerización de los fenoles donde intervienen enzimas como la polifenol oxidasa PPO (EC. 1, 14, 18,1) que utiliza oxígeno para oxidar los fenoles produciendo un pigmento color café.

Algunas evidencias científicas demuestran que los frutos de plátano en estado verde representan una fuente alternativa para la obtención de almidón, ya que lo contienen en más del 70% en peso seco, además de servir como suplemento de una amplia variedad de alimentos; sus aplicaciones se podrían extender a través de la producción de almidones modificados (Bello *et al*, 1999).

1.2 Importancia de los plátanos en México

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, su cultivo y aprovechamiento o comercialización constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. Es un fruto que se produce en las regiones de poco desarrollo industrial, en las cuales se comercializa en fresco y en menor escala, como un producto procesado. En el mercado mundial se comercializa el 80% de la producción mundial, Estados Unidos y Europa son los principales importadores de plátano Macho fresco.

Cuadro 1 Distribución de las Musas por hectáreas

Región (Estado)	Grupos Taxonómicos	Superficie (hectáreas.)
Golfo de México		
Tabasco	AAA. AABp. AA	15, 205
Veracruz	AAA.AABp	12,363
Oaxaca	AAA. AABp. AAB	4, 125
Pacífico Sur	jhgjhg	hgkjhg
Chiapas	AAA, AABp	24, 736
Pacífico Centro		
Nayarit	AAA, AABP, AAB, ABB,	6, 270
Jalisco	AAA, AABp	2,429
Colima	AAA, AABp, AAB, ABB, AA	5,500
Michoacán	AAA, AABp, AAB, ABB, AA	4,353
Guerrero	AAA, AABp, AAB.	2,320

Fuente WWW.siacon.sagarpa.gob.mx

La producción de bananos y plátanos constituye una de las ramas más importantes de la fruticultura mexicana; tal importancia radica en sus siguientes cualidades (Foro bananero, 2003):

1. Es una fruta apreciada por la población en virtud de su permanente disponibilidad, bajo precio y alto valor nutricional como fuente de energía y minerales.

2. Extensamente cultivados y cosechados en el país con 72,709 hectáreas (ha) (cuadro 1) y 1.8 millones de toneladas producidas en promedio durante el período 1995-2001.

Con referencia al nombre del plátano en México se ha generalizado en toda la población, sin embargo, de acuerdo a los especialistas, la nomenclatura se basa en la forma de consumirse, los bananos son los que se consumen como fruta cruda o fresco y plátanos los que se consumen cocinados (Vázquez, 2004).

En México se cultivan principalmente seis variedades de plátano: Enano Gigante, Valery, Roatan, Dominicó, Macho y Pera. Siendo el Enano Gigante (*Cavendish AAA*) el principal al ocupar el 75 % de la superficie total con plátano seguida por el macho (*AAB*) con el 14 %, Manzano (*AB*) 4.5 %, Dominicó ó Dátil (*AA*) 2.8 %, Pera (*ABB*) 1.8 % y Valery (*AAA*) 0.4 % (Foro bananero, 2003; Orozco-Romero y Orozco-Santos, 2004).

Cuadro 2 Producción de tipo de plátano en México

Tipos	2004	2005	2006	2007	2008
Criollo		114,802.85	105,184.04	88,648.90	92,210.20
Dominico	36, 4575	1,051,284.04	62,115.90	53,652.00	82,389.39
Enano gigante	980,173.65	1,377,638.23	1,123,949.27	1,123,949.27	1,322,556.79
Macho	228,245.13	334,761.51	294,646.33	294,649.93	332,242.43
Manzano	14,592.05	20,964.24	15,607.88	15,607.88	13,478.30
Morado	3,182	10,875.12	7,949.40	7,949.40	21,615.50

Fuente WWW.siacon.sagarpa.gob.mx

1.2.1 Producción nacional de plátano y banano

El 95 % de la producción está destinada al mercado nacional y el 5 % restante es destinado a la exportación sin embargo, se han abierto últimamente posibilidades de incrementar la exportación; las áreas productoras se localizan en las regiones tropicales de la costa del Golfo de México y Océano Pacífico. La producción de plátano y banano para el año 2000 al 2008 se ubico en 18 entidades que se agrupan en tres regiones productoras: Región del Golfo de México (Tabasco, Veracruz y Oaxaca) que ocupa el 43% de la superficie nacional cultivada, Región del Pacífico Centro (Colima, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Nayarit) con el 24 % y la Región del Pacífico (Chiapas) con un 30 %

(Foro bananero, 2003; Orozco-Romero y Orozco-Santos, 2004). Sin embargo, los principales productores de plátano y banano son: Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima y Michoacán ya que el volumen de producción que se obtiene en estos estados representó en promedio el 85.7 % de la producción nacional durante el periodo de 1997-2007 (SAGARPA, 2009).

El estado de Chiapas sobresale en comparación con los estados mencionados, al obtener en promedio una producción de 689,000 toneladas (ton) con una tasa media anual de crecimiento (TMAC) de -2.1 y Tabasco alcanzó 527,000 ton la cual se duplica, al pasar de 309,000 ton en 1997 a 630,000 ton en 2007, es decir se obtuvieron 321,000 ton más, lo que significa una TMAC de 7.4 % (Cuadro 3).

Durante el período de 1997 a 2007 la variedad enano gigante es la que domina en producción, la segunda variedad que más se produce es el plátano macho con 294,647 t; produciéndose la mayor parte en el Estado de Chiapas y en 2007 se obtuvieron 94,326 t; seguido, de Tabasco con 76,405 t (SAGARPA, 2009).

En el caso del plátano macho, el rendimiento nacional de 18.554 t ha⁻¹; el que mayores rendimientos presenta es Jalisco con 26.450 t ha⁻¹, siguiendo Guerrero con 21.320 t ha⁻¹; Chiapas y Tabasco con 20.414 y 19.475 t ha⁻¹, respectivamente (SAGARPA, 2009).

Cuadro 3 Principales productores de banano y plátano

	Miles de toneladas											Promedio	TMAC
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
Chiapas	680	573	668	701	786	619	709	831	763	703	548	689	2.1
Tabasco	309	276	350	437	527	612	649	689	653	669	630	527	7.4
Veracruz	243	174	211	203	230	218	217	246	238	274	189	225	2.5
Colima	66	130	122	153	160	170	159	162	154	151	144	145	5.1
Michoacán	145	144	149	109	104	85	95	108	125	98	108	105	2.9
Nacional	1,714	1,526	1,752	1,871	2,114	1,997	2,066	2,361	2,250	2,196	1,965	1,983	14

Fuente Servicio de información agropecuaria y pesquera (SIAP)

El precio medio rural del plátano macho tiene fluctuaciones considerables, en 1999 fue de \$2,495 por tonelada, en 2003 de \$1,297 por tonelada y en 2007 de \$3,107 por tonelada; en los Estados de Michoacán, Nayarit y Guerrero se registran los precios medios rurales más altos del plátano macho, \$4,800, \$4,383 y \$4,177 por t, respectivamente, mientras que en Puebla el precio medio rural es de \$1,576 por t, la diferencia en los precios medio rurales probablemente se deba a las distintas calidades del producto, así como a los canales de comercialización que se utilizan en los diversos Estados productores de plátano macho (SAGARPA, 2009).

1.2.2 Producción estatal de plátano y banano

La plantación de plátano en el estado de Tabasco ocupó el séptimo lugar de importancia en cuanto a superficie sembrada en el año 2007 con 4,479 ha equivalentes a una producción de 76, 405 t de las cuales, los municipios del Centro y Cunduacan (cuatro). La principal zona productora se encuentra en la región de la Sierra, en esta región se cultivan aproximadamente 9,200 ha, de las cuales el 60% corresponde a los municipios tabasqueños de Teapa, Tacotalpa y Jalapa; el principal clon cultivado es el "Gran Enano" o "Enano Gigante", con 89.4 % de la superficie bananera regional (Foro bananero, 2003). Representa el 92 % de la superficie estatal destinada para este cultivo; el municipio de Cárdenas representa el 3.34 % de esta superficie estatal (SAGARPA, 2009). Tabasco es la segunda entidad productora de plátano en el país, tan sólo en el ciclo del 2000-2008 ha contribuido con el 18 % de la superficie sembrada y con el 28.34 % de la producción a nivel nacional (SAGARPA, 2009).

Cuadro 4 Municipios productores de plátano (Producción/Ha)

Municipio	Sup. Sembrada (Ha)	Sup Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (S/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Cárdenas	143	143	4,150.00	31.5	.765.83	7,963.90
Centro	843.7	843.7	23,925.40	28.4	2,201.59	52,673.83
Cunduacan	1,715.00	1,715.00	40,999.00	23.91	2,000.00	81,998.00
Huimanguillo	402	402	14,870.00	37	1,291.86	19,210.00
Jalapa	254.99	254.99	15,110.80	58.3	2,000.00	30,221.65
Tacotalpa	868.85	868.85	50,577.71	58.2	2,310.97	887,653.18
Teapa	6,384.85	6,384.85	400,466.39	62.72	2,216.55	887,653.18
	10,612.04	10,612.04	550,459.33	51.87	2,173.83	1,196,604.00

Fuente WWW.siacon.sagarpa.gob.mx

Otra región productora del plátano es la región isla que se ubica en la parte central del estado de Tabasco, abarcando parte de los municipios del Centro y Cunduacan; en ella se cultivan aproximadamente 2,200 ha de bananos y plátanos situados sobre las terrazas formadas por los ríos Samaria, Carrizal y Viejo Mezcalapa; existen 959 productores de los cuales el 22% son ejidatarios y el 78% restante son pequeños propietarios con superficie media por productor de 2.3 ha que disponen de escasos recursos económicos y limitada tecnología, lo que determina que los rendimientos regionales sean bajos, con valores medios de 25 t ha⁻¹ año⁻¹. La comercialización se realiza en racimos y empaques rústicos (fruta desmanada sin seleccionar y en cajas de plástico) a través de intermediarios y con destino principal la Central de Abastos de la Cd. de Villahermosa, sur de Veracruz, Campeche y la Península de Yucatán (Foro bananero, 2003).

Cuadro 5 Producción de plátano por especie.

Tipo de variedad	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (S/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Dominico	473.52	473.52	7,071.81	14.82	2,020.80	14,181.21
Enano Gigante	6,873.61	6,873.61	451,672.85	65.71	2,223.13	1,004,127.02
Macho	716.86	716.86	14,314.26	19.97	2,312.22	33,097.70
Valery	288.05	288.05	17,075.61	59.28	2,109.82	36,026.43

Fuente WWW.siacon.sagarpa.gob.mx

1.3 Aprovechamiento del plátano

La producción del plátano esta fundamentalmente orientada al comercio de exportación de fruta fresca, y en muchos casos es totalmente ajena al mercado interno donde a menudo forma parte de la agricultura de subsistencia, o se nutre de los sobrantes no comercializable de las exportaciones (Soto, 1991) El plátano se ha procesado teniendo como resultado productos envasados y almacenados durante un periodo de tiempo; dentro de los productos elaborados de esta fruta se encuentra: helados, productos deshidratados, fermentados y en algunos casos vinagre y alcohol. El cuadro 6 se enlistas algunos productos a base de plátano.

Cuadro 6 Productos a partir del plátano

Productos	
Pure	Harina
Rebanadas enlatadas	Picadas
Helado	Polvo
Esencia	Conserva

Fuente Stover y Simmonds, 1987

1.4 Composición química del plátano

El valor nutricional de los plátanos ha sido estudiado por diversos autores. Los plátanos son esencialmente alimentos azucarados y fáciles de digerir ya que la pequeña cantidad de almidón que la fruta madura contiene, posee de un 54 – 80 % de digestibilidad y además es muy fácil de asimilar. El plátano es importante por su alto valor energético, su aporte es similar al del maíz (300 Kcal. x 100 g. de producto deshidratado o bien, una caloría x gramo de fruta fresca), además posee un bajo nivel de fibra cruda, que lo hace apto para el consumo humano (Soto, 1991). Ocupa un sitio especial en las dietas bajas en colesterol y sal, además contiene sodio y hay indicio de cantidades mínimas de potasio de 400mg/100gr de pulpa. Es bajo en contenido de lípidos, a pesar de tener un alto valor energético (Stover y Simmonds, 1987).

Dicha variedad contiene grandes cantidades de hidratos de carbono complejos (almidón) y es rico en minerales como potasio y magnesio, por lo que constituye una importante fuente de energía. (Soto, 1991). Representa un factor económico y una fuente de alimento importante para estas regiones. Cabe mencionar que la producción en el ámbito mundial en el 2001 fue de 66.5 millones de toneladas (Lehmann *et at.* 2002).

La composición química del plátano, dependerá del estado de madurez en el que se encuentre la fruta, En estado verde o inmaduro, el plátano presenta un 70-74 % de humedad, 1 % de proteína, 0.3-0.5% de lípidos, 20-30 de carbohidratos totales 0.5% de fibra total y 1% de cenizas. Este fruto alcanza aproximadamente un contenido energético de 4 Kcal/g (Tobin y Muller, 1998; Chávez *et at.* 1992). También se han encontrado la presencia de una variedad de minerales y dependiendo el tipo de plátano varía la proporción de estos (Cuadro 7).

Cuadro 7 Composición química de plátanos de diferentes variedades

Valores	Plátano	Plátano Dominico	Plátano Macho	Plátano Manzano	Plátano Morado
Peso neto	54	57	49	48	49
Energía	48	54	95	47	41
Energía (k)	202	228	396	195	171
Proteínas (g)	0.6	1	0.5	0.5	0.8
Lípidos (g)	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1
Hidratos de carbono (g)	12.4	14	11.6	11.8	10.3
Fibra (g)	1.4	1.2	1	1	1
Vitamina A (g)	4.3	20.4	38	6.8	24.4
Acido Ascórbico (mg)	4.8	13	4.4	6.3	3.9
Acido Fólico (mg)	10.5	12.5	9.4	10.7	10.7
Hierro (mg)	0.2	0.7	0.1	0.6	0.7
Potasio (mg)	215.2	209.8	196.6	179.8	179.8
Azúcar (mg)	6.7	7.4	6	5.9	5.9
Índice Glucemico	52	ND	ND	ND	ND
Carga Glucemica	6.4	Nd	ND	ND	ND

Fuente: Pérez Lizaur y col, 3 Ed.

El polisacárido predominante en el plátano verde es el almidón, que constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetiza sacarosa y fructuosa que se encuentra cuando llega a la maduración, razón por la cual el plátano maduro es más dulce (Baudi, 1993). Esto ocasiona que grandes cantidades de almidón se pierdan (cuadro 8). Algunos estudios encontraron que dicho almidón se considera como un ingrediente multifuncional en la industria de alimentos (Baudi, 1993)

En el caso del plátano es muy indicativo en este sentido: en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos, a medida que la fruta madura el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos sintetiza; sacarosa y fructuosa que se encuentra cuando llega la maduración.

Cuadro 8 Cambios de la composición de plátano en la maduración

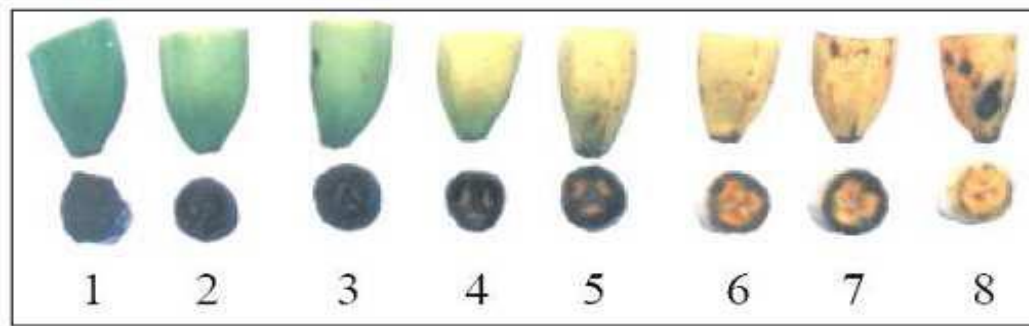
Color	Características	Almidón	Azúcares
1	Verde	21.5-19.5	0.1-2.0
2	Verde con huellas de amarillo	19.5-16.5	2.0-5.0
3	Más verde que amarillo	18.0-14.5	3.5-7.0
4	Más amarillo que verde	15.0-9.0	6.0-12.0
5	Sólo puntas verdes	10.5-2.5	10.0-18.0
6	Todo amarillo	4.0-1.0	16.5-19.5
7	Pequeñas áreas de color café	2.5-1.0	17.5-19.0
8	Grandes áreas de color café	1.5-1.0	18.5-19.0

Fuente Badui Bergal Salvador, 1993.

El almidón es importante en primer lugar, como fuente energética de la dieta y en segundo lugar, porque sus propiedades físicas influyen en la textura y aceptabilidad de los alimentos. La función nutricional de los almidones constituye, después de la hidrólisis digestiva de la glucosa la principal fuente de caloría de la alimentación humana.

Las características más importantes para determinar el uso industrial del almidón de plátano verde son sus resistencia a la digestibilidad en el intestino del hombre proporcionar fibra dietaría cuando se utiliza como componente de reacciones alimenticias y el contenido de amilosa. (Faisant *et al.*, 1995; Aparicio, 2003). Para aislar el almidón de plátano y/o banano es necesario trabajar con la fruta en estado verde que es cuando posee la máxima cantidad de este (de 20 a 25%), ya que conforme madura, el almidón se convierte en azúcar, hasta llegar a valores de apenas 1% (figura 1).

Figura 1: Patrón de almidón correspondiente al color de la cáscara durante su maduración



Fuente Faisant et al., 1995

1.5 Uso del plátano como harina

La harina de plátano es un producto importante de considerar para ser industrializado, con el fin de utilizarse en la producción de concentrado animal y otros productos que se podrían desarrollar para consumo humano. El plátano verde tiene un alto contenido de almidón, denominada almidón resistente Englyst et al (2005) descubrieron que una fracción de almidón resistente no es procesada por las enzimas digestivas y llega al colon, donde es fermentado por las bacterias presentes en esa parte del intestino grueso, produciendo compuestos que participan en la prevención de enfermedades cardiovasculares, de cáncer de colon y reduce los niveles de colesterol en sangre. (Pacheco et al, 1998). Es muy rica en sales minerales como el: calcio, potasio, fósforo, hierro, cobre, flúor, sodio y magnesio. También posee vitaminas del complejo B, como la tiamina, riboflavina, pirodoxina y cianocobalamina

García Suárez 2001 elaboró harina precocida con plátano macho verde para preparar alimentos para bebé, galletas, panes, pastas y bebidas refrescantes además de utilizarse como materia prima para producir jarabe de glucosa y fibra, y de ese modo diversificar el consumo del fruto para contribuir a mejorar la calidad nutricional de la población mexicana. Concluyó que una fracción de este almidón es resistente (no es degradada por las enzimas digestivas del hombre) y junto con la fibra soluble del fruto, contribuyen a bajar los niveles de colesterol e índice glicémico (cantidad de glucosa en la sangre después de la comida), previniendo el riesgo de diabetes y enfermedades cardiovasculares,

además de mejorar el tránsito intestinal y reducir el riesgo de enfermedades del colon

Juárez-García *et al* (2006) estudiaron la digestibilidad de un pan elaborado con harina de plátano al 100%, ellos concluyeron que este producto podría ser recomendado en dietas especiales (por ejemplo personas con diabetes y obesidad), debido a que produjo una respuesta glucemia *in vitro* y presento altos contenidos de almidón resistente y fibra.

Pacheco-Delahaye (2001) elaboro sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde a las cuales les realizo estudios nutricionales; encontró que las sopas deshidratadas presentaron un bajo contenido de grasa, alto valor de fibra dietética y almidón resistente, mientras que la hidrólisis del almidón presentes en las sopas fue lenta; debido a esto, concluyo que podrían ser utilizados en regímenes especiales de alimentación.

Varios trabajos de investigación indican que la harina de plátano verde contiene una fracción considerable de almidón resistente, el cual presenta efectos similares a la fibra dietética. Para diversificar el uso de esta fruta, la harina de plátano verde seria de interés como una posible fuente de importancia para la alimentación, debido a que esta harina puede presentar atractivas características químicas y funcionales (Pacheco *et al*, 1998; Wahiszewski *et al*, 2003; Juárez-García *et al*, 2006).

1.5.1 Composición química de la harina de plátano

La harina de plátano es un polvo fino, blanco, similar al respecto del almidón aislado de este mismo fruto; sin embargo, ésta es oscurecida con el paso del tiempo, quizás se deba probablemente a los compuestos fenólicos aun presentes en la harina. El análisis proximal realizado en harinas de plátanos de diferentes variedades (Cuadro 9) muestra que son muy similares en su composición. Se puede observar que las principales diferencias se encuentran en su composición de carbohidratos (Mota *et al*, 2000).

Cuadro 9. Composición química de harinas de plátano verde de diferentes variedades

Variedad	Proteína (%N x 6.25)	Humedad (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Almidón (%)	Fibra soluble (%)	Fibra Insoluble (%)
Prata Común	2.5 ± 0.02	5.8 ± 0.43	0.58 ± 0.48	2.8 ± 0.06	72.4 ± 3.6	3.05 ± 0.12	7.41 ± 0.4
Ouro de mata	2.8 ± 0.13	4.69 ± 0.36	0.33 ± 0.35	2.6 ± 0.06	65.7 ± 2.8	2.10 ± 0.15	6.85 ± 0.2
Nanica	2.8 ± 0.19	6.17 ± 0.13	0.78 ± 0.51	3.5 ± 0.06	76.5 ± 2.9	2.39 ± 0.10	5.37 ± 0.2
Prata ña	2.9 ± 0.04	4.97 ± 0.40	0.47 ± 0.29	2.9 ± 0.06	68.2 ± 4.0	2.31 ± 0.13	6.55 ± 0.2
Mysore	2.6 ± 0.06	4.92 ± 0.45	0.42 ± 0.24	3.2 ± 0.06	61.3 ± 6.9	2.98 ± 0.29	12.56 ± 0.2
Maca	3.3 ± 0.10	3.91 ± 0.37	0.52 ± 0.28	2.7 ± 0.10	64.9 ± 2.5	2.42 ± 0.16	8.86 ± 0.02

Fuente Mota y col; 2000

CAPITULO II

2.1 Generalidades del almidón

Este carbohidrato ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además que se le ha dado un gran número de usos industriales. Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales y tubérculos, y en algunas frutas como polisacáridos de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente; En el caso del plátano en estado verde e inmaduro el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono. Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina (Ronald *et al*, 2005).

En términos generales los almidones contienen aproximadamente 17-27 % de amilosa, y el resto de amilopectina (Cuadro 10). Algunos cereales como el maíz, sorgo y el arroz, tiene variedades llamadas “Céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina, hay otras que tiene hasta 90% de amilasa. La concentración relativa de estos polímeros esta regida por factores genéticos tipos de cada cereal (Ronald *et al*, 2005).

Cuadro 10. Características de almidones usados en la industria alimentaria.

Tipo	Amilopectina (%)	Amilasa (%)	Temperatura de gelatinización.(°C)	Tamaño del granulo. (micras)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilasa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Yuca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente Aparicio 2000

2.2 Importancia del almidón

El almidón es el principal polisacárido de almacenamiento de la mayoría de las plantas superiores, se encuentran como gránulos insolubles en cloroplastos y amiloplastos. La función nutricional de los almidones es importante por que constituyen como fuente de energía para el hombre, es el principal componente dietario en todas las poblaciones humanas, debido a que proveen del 70 al 80% de las calorías que se consumen a nivel mundial (Freitas et al, 2004). El contenido de almidón (expresado en g/100g de materia seca) de la patata 84, plátano 90, y trigo, arroz y maíz 75 (Banavet. 1997). En la industria de alimentos y bebidas, el almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y la consistencia de los alimentos, debido a su propiedad como espesante, lo cual es dado por sus componentes poliméricos de alto peso molecular (Bellos-Pérez et al, 1999, Bellos –Pérez et al 2002) También se utiliza para mejorar la calidad del almacenamiento y la frescura de los productos recientemente se han utilizado como sustitutos de grasas proveendo alternativas para la elaboración de alimentos con bajo contenido calórico (Murat et al, 2001) Otras aplicaciones se le han dado en las industrias de papel y textil (Bellos-Pérez et al, 1999, Casey et al, 2000).

Desde el punto de vista ecológico, recientes estudios se han enfocado al uso del almidón con el propósito de incorporarlo a los plásticos, promoviendo de esta manera nuevos materiales biodegradables (Delville et al 2002)

2.3 Usos del almidón

En virtud de su amplia variedad de propiedades los almidones y de los derivados de los almidones (almidones modificados) se puede encontrar en muchos alimentos actúan como vehículos inertes en preparaciones tales como polvos para hornear y como espesantes en alimentos procesados como salsas, sopas, caldillos, cremas (incluyen helados), pudines y reposterías. El almidón puede usarse como un sustituto de ingredientes más costosos, como el huevo y aceite vegetal, en la preparación de aderezos para ensaladas. Muchas botanas modernas se preparan con almidón mediante calentamiento, extrusionado y freído de un producto parcialmente seco. Sin embargo es posible seleccionar no solo a partir de almidones naturales (trigo, maíz, papa,

arroz y sorgo) sino a partir de variaciones en sus propiedades logradas mediante un tratamiento térmico o por una modificación química (Banavet. 1997). Debido a que la cantidad de almidón y de los derivados del almidón se usan en los alimentos varían mucho, se ha argumentado que estos materiales se consideren como ingredientes normales de los alimentos.

2.4 Producción mundial

La fuente tradicional para la obtención de almidón, ha sido el maíz; sin embargo, en la actualidad se está dando una atención gradual a fuentes no convencionales como amaranto, yuca, papa y sorgo, así mismo, las frutas verdes representan una fuente alternativa, debido a que el componente principal del fruto inmaduro o en estado verde es almidón (Bellos-Pérez et al, 2002). La producción mundial de almidón se ha estimado en 51 millones de toneladas que se extraen principalmente del maíz (32.6 millones) y papa (6.6 millones). De esta producción, aproximadamente el 50% se estima como ingrediente en alimentos (Alexander, 1999).

2.5 Morfología del grano de almidón

De todos los polisacáridos, el almidón es el único producido universalmente en pequeños agregados individuales, denominados gránulos. Puesto que son sintetizados en las células de cada planta, estos adquieren diferentes características y dependen de la forma, tamaño y estructura submicroscópica de las plantas y las condiciones físicas impuestas por el entorno del tejido. (Fennema, 1992).

El almidón se localiza en los granos de cereales, semillas de las leguminosas, tubérculos y en las frutas verdes. Estos gránulos tienen un tamaño entre 2 y 100 micras, dependiendo del vegetal, aunque en un mismo vegetal aparece una cierta heterogeneidad de tamaño. Los gránulos de almidón de arroz están entre los más pequeños, y los del almidón de patata, entre los más grandes, en los extremos del rango de tamaños indicado (Cuadro 11)

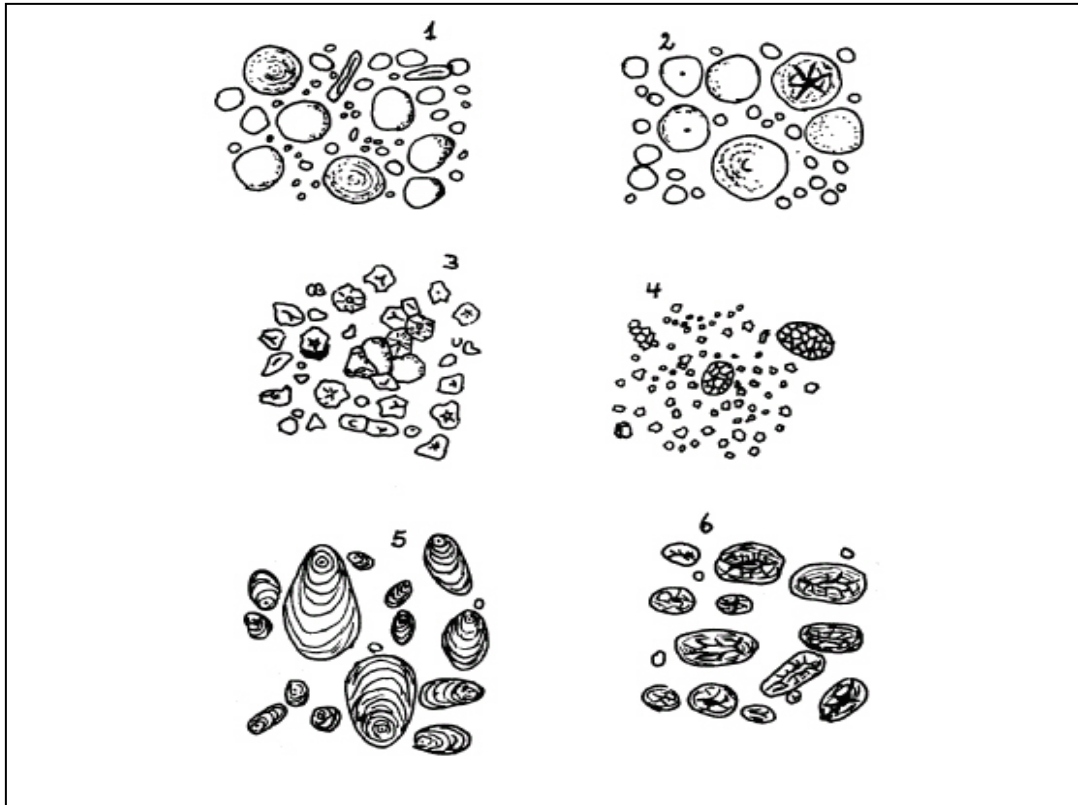
Cuadro 11 características de algunos almidones.

Almidón	Rango de diámetro (µm)	Diámetro promedio (µm)	Forma
Maíz	2 a 30	10	Redondo poligonal
Maíz ceroso	3 a 26	10	Redondo poligonal
Trigo	1 a 45	8	Redondo lenticular
Papa	5 a 1	28	Óvalos esféricos
Tapioca	4 a 35	15	Óvalos truncados
Frijol mungo	7 a 26	NA	Ovalado redondo

Fuente Aparicio 2000

Existen gránulos que son esferoides, alongados, aplanados con surcos longitudinales como el trigo, cebada y centeno (Donald *et al*, 2001); también los helicoidales con un hilo excéntricos, como los de papa, poliédricos o polimorfos como en centeno. Las unidades básicas del almidón son azúcares de D-glucopiranosas, las cuales pueden presentar configuraciones alfa (α) y beta (β); los polímeros del almidón solamente presentan la configuración tipo α (Thomas y Atwell, 1999). Otros componentes son proteínas, lípidos y cantidades relativamente pequeñas de minerales (calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio) (Tester *et al*, 2004).

Figura 2 Estructura de diferentes gránulos de almidón 1 Trigo, 2 Centeno, 3 Maiz, 4 Arroz, 5 Papa 6 Legumbre.



Los gránulos de almidón nativo son estructuras semicristalinas y dan patrones de fracción de rayos X de dos tipos principales; un patrón A característicos de almidones de cereales y uno B de tubérculos y frutas como el almidón de plátano. El patrón C se considera intermedio entre los patrones A y B por otra parte, se ha encontrado que el almidón precipitado y que forma complejo con varias moléculas orgánicas adopta la estructura llamada V (Dexter, 1984)

En los gránulos de almidón, que no están rodeados por ninguna envoltura, las moléculas de amilasa y de amilopectina se disponen en forma radial, formando una serie de capas concéntricas. En estas capas existen zonas cristalinas, en las que las cadenas están asociadas en forma de hélices.

2.5.1 Componentes estructurales

Los almidones son polisacáridos vegetales. Fisiológicamente son sustancia de reservas, análogas al glucógeno animal y no a los constituyentes de estructuras del tipo de celulosa o pectina. Los bloques básicos de los carbohidratos son la (α) y (β)-D glucosa, las cuales contienen seis átomos de carbono en forma de anillos de piranosa. A través de una condensación enzimática, se elimina una molécula de agua entre dos moléculas de glucosa formando un enlace, esta condensación ocurre principalmente entre los carbonos 1 y 4 y ocasionalmente entre los carbonos 1 y 6. Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos, compuesto de un número de monosacáridos o moléculas de azúcar (glucosa) unidas mediante condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1,4), que establece largas cadenas lineales con 200 -2 500 unidades y peso moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D- (1,4). (Robinson, 1994).

El almidón puro consiste predominantemente (Tester et al, 2004) de dos tipos de polímeros de la glucosa, la amilosa, considerada como una molécula esencialmente lineal y amilopectina, con una estructura altamente ramificada (Coulter, 1990).

Las propiedades funcionales del almidón, dependen de varios factores, entre estos, el tipo de clima o región geográfica donde se desarrolla la planta; la proporción de cada uno de los componentes que forman el granulo: amilosa y amilopectina; la arquitectura del granulo y la presencia de otras sustancias que pueden interactuar con los componentes y cuya presencia depende de la pureza que presentan al almidón al final de su extracción. (Balagopalan, et al, 1998; Kokini et al 1992). En general, la composición, estructura y morfología individual de los gránulos de almidón es lo que determina sus propiedades

Cuadro 12 Contenido de almidones de amilosa y amilopectina en almidones nativo

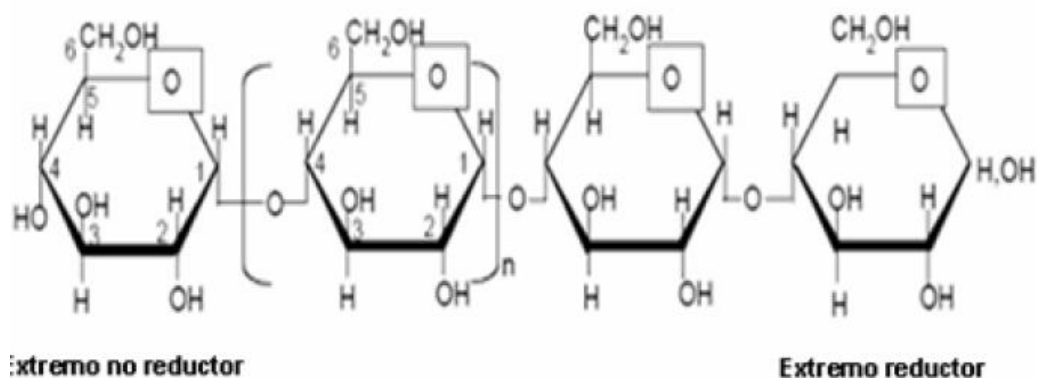
Origen del almidón	Amilosa (%)	Amilopectina
Papa	21	79
Yuca	17	83
Maíz	26.2 – 28	72 – 73.8
Maíz ceroso	0 – 1	99 – 100
Trigo	28	72
Arroz	17.3	82.7
Arroz ceroso	0 -2	98-100
Plátano	9.11-17.16	91.99 – 92-4
Chíncharo	36.2	63.8

Fuente Aparicio 2000

2.5.1.1 Amilosa

La amilosa está conformada por moléculas de glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos α -(1,4) (figura 3). presenta ramificaciones donde las cadenas de glucosa se unen por enlaces α -(1,6), sin embargo, tales ramificaciones se encuentran de manera infrecuente y espaciadas, por tal motivo la amilosa es considerada una molécula lineal. Típicamente constituye del 20 al 30% del almidón (Sajilata et al, 2006)

Figura 3 Estructura química de la amilosa

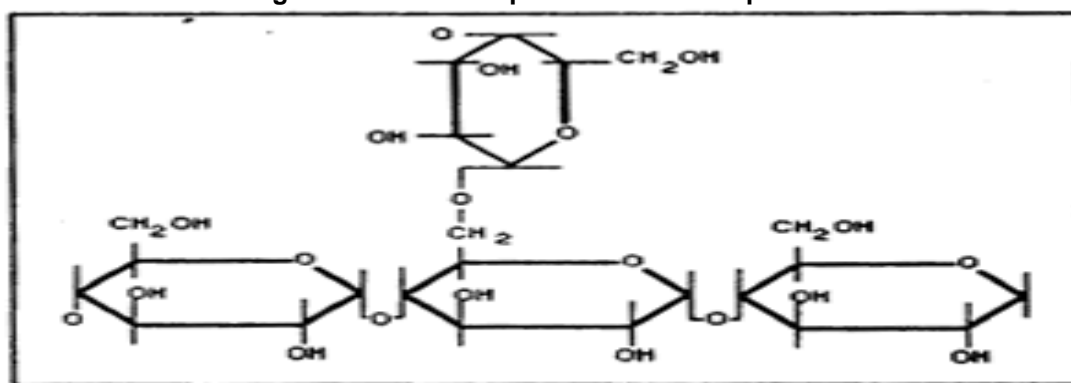


Fuente: Tester y col; 2004

2.5.1.2 Amilopectina

La amilopectina representa un 70-80% del almidón total en tipos comunes y casi 100% cerosos. Esta molécula se compone de subunidades de glucosa, las cuales se unen por enlaces α -(1,4) y α -(1,6). Los enlaces α -(1,6), forman puntos de ramificaciones dentro de la molécula. Las ramificaciones se encuentran entre cada 20 a 30 unidades de glucosa (Figura 4) La amilopectina es la responsable de la estructura del gránulo de almidón, el cual consiste de áreas cristalinas y no cristalinas, arregladas en capas concéntricas. (Sandoval-Aldana, 2005).

Figura 4 Estructura química de la amilopectina



AMILOPECTINA

Fuente: Tester y col; 2004

2.6 Propiedades del almidón

2.6.1 Gelatinización

La gelatinización es una propiedad que se manifiesta durante el proceso de calentamiento del almidón contenido en un sistema alimentario. Esto es definido en término, específico, y colectivo. En ciencias básica, es considerado como una fase de transición endotérmica, especialmente, se funde la región cristalina del gránulo y es un proceso que puede ser analizado termodinámicamente (Bower, 1992)

Debido a que la presencia de los gránulos de almidón en agua fría, esta altamente organizada y que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, , cuando se calienta empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas

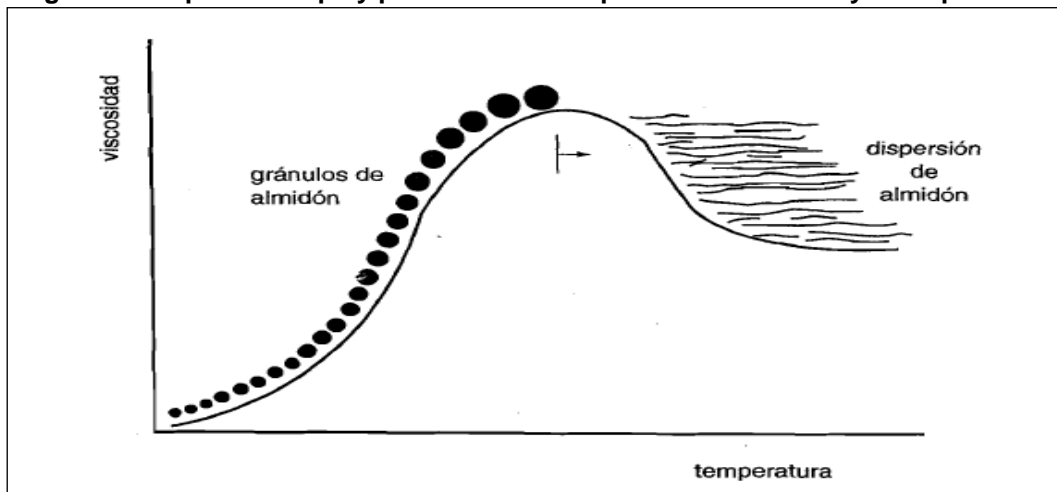
intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de nitrógenos son tan numerosos y rígidos como en las áreas de cristalinidad. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y aumentar de volumen, sin que se presente un aumento importante en la viscosidad; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente la cristalinidad inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía.

Al llegar a ciertas temperaturas, normalmente cercana a 65°C; aunque dependerá de cada tipo de almidón, el gránulo alcanzará su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia; si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente, y la amilosa y amilopectina, fuertemente hidratada, se dispersa en el seno de la disolución. En este punto se pierde la estructura original y la birrefringencia del gránulo, esto aumenta la viscosidad. Aproximadamente 30% de la amilosa se encuentra en solución.

La cinética de gelatinización del almidón de la papa se ha estudiado aplicando la técnica analítica de la calorimetría diferencia de barrido. Con ella se ha encontrado dos constantes de velocidad, dependiente de la temperatura que son un reflejo de la zona amorfa y cristalina. Por otra parte, esta transformación sigue una cinética de pseudo-cero orden cuando se efectúa mediante la extrusión, en cuyo caso la velocidad está en función de la temperatura y de la humedad; con este sistema también se ha comprobado que los almidones céreos (1% amilosa) gelatinizan más fácilmente que los normales (30% amilosa), pues existen menos zonas cristalinas.

Para visualizar mejor este fenómeno, la figura 4 se muestra esquemáticamente el aumento del volumen de los gránulos contra el aumento de la viscosidad de la dispersión acuosa. Una vez que los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta alcanzar un valor estable en el que se genera un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes según el almidón de que se trate.

Figura 5 Gelatinización del almidón; los granulos se hinchan y retiene un maximo de agua hasta que se rompe y producen una dispercion de amilosa y amilopectina.



Fuente: Baudi;2006

2.6.2 Retrogradación

La retrogradación se refiere a los cambios físicos de los almidones en estado de gel a uno de estructura más cristalina. En un pan fresco, es en su mayor parte amorfo, además experimentan durante el almacenamiento una recristalización. Este proceso es responsable del envejecimiento del pan y fue descubierto por Katz en 1928, usando difracción de rayos X, en que el almidón retorna a estado semicristalino en pan envejecido (Eskin, 1990). Originalmente se pensaba que la modificación de este alimento se debía a la facilidad de la amilosa para retrogradar y formar zonas cristalinas, pero después se encontró que también la amilopectina ejerce un efecto decisivo. Durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del granulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de manera que los restos de gránulos, se ven rodeados por moléculas de polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe básicamente a la asociación de las cadenas de amilopectina que permanece en el granulo hinchado después de haber perdido parte de la amilosa. En el pan fresco, el polímero ramificado tiene todas sus ramas completamente extendidas, mientras que el pan duro estas retrogradadas, unidas entre si y sin el agua original.

De acuerdo con este mecanismo los emulsionantes inhiben este fenómeno por que interaccionan con la amilosa dentro del granulo y evita su difusión, lo que a trae consigo que la amilopectina no se concentre y se exponga a la retrogradación.

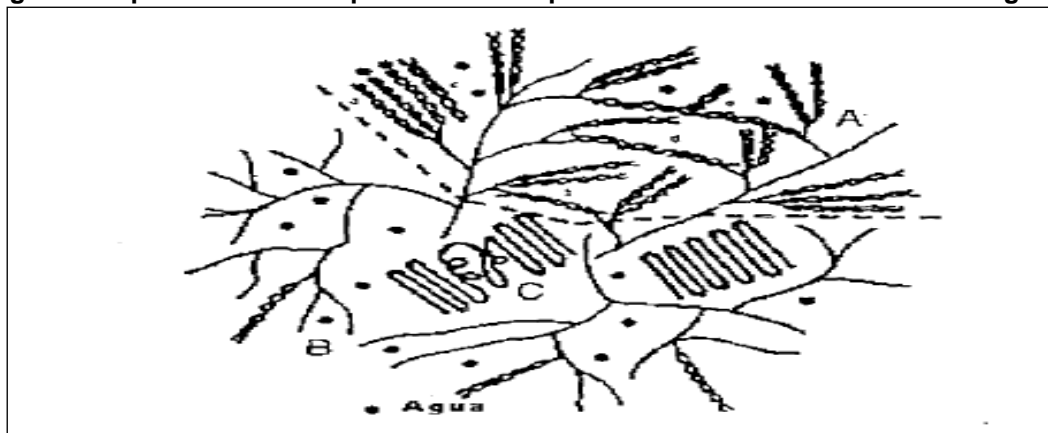
El envejecimiento del pan puede hacerse reversible con calor húmedo, siempre y cuando el almidón no se encuentre en un estado muy avanzado de retrogradación. Las enzimas amilolíticas del sistema digestivo del humano no atacan la zona cristalina que se produce y, en este sentido, se reduce el valor calórico de los alimentos que la contienen.

Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que esta relaciona con su contenido de amilosa, ya que la amilopectina es mas fácil que se desarrolle debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrogeno entre las moléculas adyacentes, sin embargo, si la soluciones de almidón se congelan y descongelan continuamente se produce su

insolubilización. Las fracciones amilosa y las selecciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalinidad muy rígidas, que requieren de una alta energía para que rompa y el almidón gelatiniza (Badui, 1993).

En la figura 5 se presenta una estructura de almidón retrogradado. Donde el almidón fue sometido a ciclos de congelación; estos resultados de almidón y las fracciones y hidrolizadas fueron examinados con severos métodos estipulados, relevando la probable estructura cristalina y moléculas. Esta figura puede ser considerada como un aumento de una región de la estructura de la amilopectina con la edición de moléculas de amilosa. Las tres áreas (llamadas dominios A, B, y C). El dominio A (por encima de la línea cortada) incluye ramificaciones de amilopectina enrolladas en estructura de doble hélice. El dominio B contiene algunas ramificaciones de amilosa pero muchas más inmóviles dispersas alrededor del agua. Estos dominios son considerados como representativos de la transición entre el estado del gel formado y la retrogradación del tipo ejemplificado en el dominio A. El dominio C contiene amilosa retrograda como moléculas plegadas las cuales son diferentes desde la cadena amilosa participante en la estructura de doble hélice en el dominio A (Bower, 1992).

Figura 6 Representación esquemática de la posible estructura del almidón retrogrado



Fuente; Bowers, 1992

2.6.3 Absorción de agua

Los gránulos de almidón son normalmente insolubles en agua fría pero cuando la temperatura es mayor, ellos absorben agua y se hinchan. Este proceso parece ser reversible dependiendo de la temperatura, pero por encima de la temperatura de gelatinización (>50°C) se incrementa la absorción de agua, resultando una expansión de el volumen del granulo de almidón. Los gránulos de almidón nativos, absorben solo la mitad de su peso comparado con los gránulos modificados, que absorben el doble de su propio peso de agua. La importancia del almidón modificado en la elaboración de pan esta relacionado con la capacidad de incrementar la cantidad de agua absorbida por la harina, que se incrementa al producirse la pasta. El grado de cambio de el almidón puede ser controlado durante el proceso de molienda, pero depende de diversos factores como lo es la variedad de trigo usado, el contenido de proteína en la harina, actividad amilasa, y en particular del proceso de cocción usado (Eskin, 1990).

2.6.4 Hinchamiento y solubilidad

De una manera muy lenta, a través de sus zonas amorfas, los gránulos de almidón absorben diferentes cantidades de agua según la especie y las proporciones de las dos fracciones constitutivas (amilosa y amilopectina). Los gránulos de almidón intacto no son solubles en agua fría, pero pueden absorben pequeñas cantidades de agua de forma reversible, ocasionando un pequeño hinchamiento, el cual solo se puede observar en el microscopio. Este incremento del diámetro del granulo varia entre 9.1% para el almidón de maíz normal y 22.7% para el maíz céreo, sin embargo cuando se incrementa la temperatura, las moléculas de almidón vibran vigorosamente, rompiendo los enlaces intermoleculares y permitiendo la formación de puentes de hidrogeno con el agua.

El hinchamiento puede ser definido como el máximo incremento en volumen y peso que alcanza una sustancia cuando absorbe libremente el agua; cada almidones tienen un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hinchanran y solubiliza en distintas condiciones de temperatura (Badui, 1993). Los factores que afectan estas características son la variedad, la edad de los

tubérculos y las condiciones ambientales, mientras que el tamaño del granulo y su peso molecular parecen no afectarle (Balagopalan *et al.*, 1988).

2.6.5 Factores que afectan las propiedades del almidón

La gelatinización del almidón, la viscosidad de sus soluciones y las características de sus geles formados, dependen no solamente de la temperatura, sino también de los tipos y cantidades de los demás constituyentes también presentes, ya que en muchos casos el almidón se encuentra acompañado en el alimento de azúcares, proteínas, grasas ácidos y agua.

El agua: en los alimentos el agua no solo es el medio de reacción, sino que constituye también un ingrediente activo, utilizado para controlar reacciones, textura y comportamiento general físico y biológico. Lo importante no es la cantidad de agua sino la disponibilidad de esta o, en lo que es lo mismo la actividad de agua. La actividad de agua esta influenciada por la sales, azúcares y otros agentes que retienen agua. Así, si algunos de estos constituyentes están presentes, la actividad de agua será baja y la gelatinización no se producirá o se verá retardada. Puede decirse pues que los componentes que fijan agua fuertemente retrasan la gelatinización del almidón al ligar el agua disponible en competencia con el (Fennema, 1993; Badui; 1993; Bowers; 1992).

Azúcares y sales: la presencia de glucosa y sacarosa ejerce una competencia con el agua de hidratación que trae como consecuencia cambios en las propiedades reológicas, de este hidrato de carbono ya que reduce la velocidad de gelificación y la viscosidad final. En este sentido, los disacáridos son más activos que los monosacáridos lo cual se ha comprobado en la manufactura de los productos de repostería donde se observo que la galactosa ejerce menor efecto que la glucosa y esta a su vez menor que la sacarosa. El hecho de que una mezcla de almidón y sacarosa absorba menos agua, que la calculada matemáticamente, es un reflejo de la interacción que existe y que el polímero no desarrolle toda su capacidad de hidratación.

Algunas sales aceleran la velocidad de gelatinización, mientras que otras la reducen, el almidón no tiene grupos ionizables como otros polímeros, y por lo tanto debería ser insensible a las sales y a los cambios de pH, sin embargo en sistemas modelo, se ha visto que es afectado cuando los iones como fosfatos, acetatos, cloruros, citratos, sulfatos, y tartratos y cationes como el calcio se encuentran en concentraciones más altas (Ibídem).

Proteínas: existen muchos alimentos cuya textura esta determinada por interacciones físicas y químicas de las proteínas con almidón. Las proteínas de la leche se emplean conjuntamente con el almidón para la elaboración de diferentes alimentos en los que se requieren ciertas propiedades funcionales; las temperaturas de gelatinización en presencia de proteínas lácteas depende en gran medida de los tratamientos térmicos previos a los que influye en las propiedades del almidón (Badui, 1993).

pH: el pH del medio es muy importante al seleccionar el almidón más adecuado. Un almidón nativo (sin modificar) llegara antes al máximo de sus cambios fisicoquímicos y se romperá más rápidamente a un pH de 2.5 que a uno de 4.0 (National Starch and Chemical Company, 1997). Los valores de pH menores de 5 o mayores de 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y a acelerar el proceso de cocción. En condiciones alcalinas esta decrece considerablemente, mientras que en condiciones muy acidas se favorece la hidrólisis del enlace glucosidicos con la consecuente perdida de la viscosidad (Badui, 1993; Fennema, 1993; Ott, 1992).

Lípidos: los lípidos tales como los triglicéridos (grasas) y materiales asociados a lípidos, tales como los emulsificantes monodiacilgliceridos, también están presentes en los alimentos y afectan a la gelatinización del almidón. Las grasas capaces de formar complejos con la amilosa retardan el hinchamiento de lo gránulos. Así en el pan blanco, que contiene poca cantidad de grasa, el 96% del almidón esta completamente gelatinizado en condiciones normales, como se pone de manifiesto por medio de un examen microscópico o por determinación de la cantidad de almidón que es fácilmente atacable por la glucoamilasa. En los sistemas en los que se verifica la gelatinización del almidón, la grasa añadida en ausencia de emulsificantes, no afecta la

viscosidad máxima alcanzada, pero disminuye la temperatura a la que esta se produce (Ibídem).

Tipo de almidón y grado de calentamiento: dependiendo de las concentraciones de amilosa/amilopectina y de la pureza del almidón, los diversos almidones tendrán diferentes características de gelatinización y gelificación. La viscosidad máxima depende de un calentamiento suficiente para lograr la máxima gelificación del granulo de almidón. La máxima fuerza del gel del almidón depende de que se efectuó un calentamiento suficiente para liberar algunas moléculas de amilosa con una mínima fragmentación de los gránulos (Ott, 1992).

2.7 Digestibilidad del almidón

El almidón se define como la “fracción del almidón digeridos por las enzimas digestivas humanas en el tracto gastrointestinal y absorbida en el torrente sanguíneo (principalmente como glucosa) (Slaughter, 2001)

Los animales y humanos producen enzimas digestivas que hidrolizan al almidón. La saliva de ambos contiene α -amilasa, causante de una pequeña modificación de este. El páncreas juega un papel importante en la digestión del almidón, ya que este produce a la α -amilasa pancreática, responsable de hidrolizar los enlaces α -(1,4) liberando glucosa, oligosacáridos y dextrinas. (Tester, 2004).

2.7.1 Digestión del almidón

La digestión del almidón es un proceso que inicia en la boca a través de la amilasa salival (Gray, 2003) (el pH óptimo de acción es 6.9) secretada por las glándulas parótidas y submandibulares. Esta enzima hidroliza sal almidón en disacáridos y oligosacaridos. La amilasa salival al llegar al estomago, es inactivada por las condiciones acidas que este presenta. Al pasar el almidón y sus productos de hidrólisis al intestino delgado, se inicia la actividad de la amilasa pancreática (sintetizada por el páncreas), para luego desembocarse en el duodeno. En el duodeno continua la hidrólisis.

Factores que afectan la digestibilidad del almidón

Según Jenkins *et al.* (2002) la digestibilidad del almidón en alimentos tanto *in vitro* como *in vivo* se ve afectada por diversos factores como

- a) La macroestructura y propiedades de los alimentos amiláceos (por ejemplo; el tejido de las plantas que contiene gránulos de almidón intracelular, la matriz almidón gluten-del pan blanco).
- b) La estructura y propiedades fisicoquímicas de los gránulos de almidón (tamaño del granulo, relación amilosa-amilopectina, grado y tipo de cristalinidad, longitud de la cadena de amilosa, grado de asociación molecular entre los componentes del almidón), los cuales varían enormemente dependiendo del origen botánico del almidón.
- c) La presencia de otros componentes dietarios como la fibra y los lípidos; así como antinutrientes (proteínas inhibidoras de α -amilasa).
- d) Las condiciones de procesamiento, por ejemplo los tratamientos hidrotermicos en donde el almidón es gelatinizado (Byoung-wook *et al* 2003, Hoover y Zhuo, 2003).

La digestión de los gránulos de almidón es un proceso complejo que incluyen diferentes fases: la difusión de la enzima hacia el sustrato con el impacto de la porosidad de este, la absorción de la enzima al material amiláceo y el evento hidrolítico (Colona *et al*, 1992).

La difusión de la α -amilasa al sustrato es considerada una etapa importante de la hidrólisis del almidón. La interacción del almidón con fibra, proteína y otros componentes pueden prevenir la difusión y absorción de la enzima. El tamaño de partícula tiene un papel importante en la hidrólisis, ya un tamaño de partícula pequeño muestra una alta susceptibilidad enzimática. Mientras que un tamaño de partícula grande presenta un área superficial menor, que se ve reflejado en la resistencia de los gránulos a la digestión enzimática (Lehmann *et al* 2007).

A nivel molecular, la estructura cristalina y el ordenamiento de la fase amorfa afectan la susceptibilidad enzimática. El arreglo de tipo A o de tipo B de los

cristales afecta la digestibilidad. Generalmente, el arreglo tipo A es más susceptible a la hidrólisis comparado con el tipo B. Estos dos arreglos difieren en el empaquetamiento de las dobles hélices y el contenido de agua. Los almidones que presentan un arreglo tipo A tienen doble hélice más cortas y muestran mayor cantidad de almidón rápidamente digerible y almidón lentamente digerible, comparado con el arreglo tipo B, que presenta un alto contenido de almidón resistente (Jane *et al*, 1997).

2.7.2 Efectos fisiológicos del almidón en el ser humano

Desde el punto de vista nutritivo, el almidón es el principal componente de la dieta humana. Existe la tendencia a consumir alimentos más saludables reduciendo el consumo de azúcar refinada y grasa, substituyéndolos por productos derivados del almidón. Sin embargo, en nuestra cultura el principal propósito de la utilización del almidón y sus derivados es más importante desde el punto de vista estético que nutricional. Este biopolímero constituye una excelente materia prima para modificar la textura, apariencia y consistencia de los alimentos, pero no solo la cantidad, sino el tipo de almidón son críticos para conferir la textura deseada a un alimento en particular (Biliaderis, 1991).

2.7.3 Aspectos nutrimentales

Los almidones han sido clasificados en tres categorías con base en el grado de digestibilidad y asimilación de los procesos digestivos:

- **De rápida digestión:** su asimilación y absorción es completa en el intestino delgado por los procesos digestivos, y tenemos como ejemplo los alimentos almidonosos como harinas de maíz o arroz para la preparación de atoles, harinas de trigo para hot cakes y frituras, entre otros; esto se debe al alto grado de refinación de los granos de los cuales provienen, y tienen como característica que

el almidón sea fácilmente hidrolizado por las enzimas (Shamai *et al* 2003).

- **De baja digestibilidad:** su absorción es lenta, pero completa; esto ocurre con almidones contenidos en algunos alimentos procesados como los espaguetis o cereales para el desayuno que, por sus características físicas, retrasan la digestibilidad o en el caso de los granos enteros como las leguminosas, por los cuales disminuye la velocidad de hidrólisis del almidón (Shamai *et al*; 2003). .
- **Indigeribles:** su digestibilidad puede ser parcial y/o resistente a los procesos digestivos. Esto ocurre en alimentos que durante su elaboración y por el tipo de procesamiento, el almidón presenta cambios estructurales debido a la formación de estructuras cristalinas compactas, además de las características físicas del propio alimento, teniendo como consecuencia que su hidrólisis sea inhibida por las enzimas digestivas y que no puedan penetrar en el almidón, lo que es conocido como almidón resistente o almidón retrogradado, que presenta resistencia a la digestibilidad; o en alimentos frescos en los cuales el almidón se encuentra protegido por las estructuras celulares del alimento y las enzimas digestivas se vean limitadas en su acción enzimática. El almidón que no es digerido pasa al intestino grueso, el cual es fermentado por los microorganismos del colon o, en su defecto, puede ser eliminado en las heces sin ser asimilado en su totalidad (Shamai *et al*; 2003).

2.8 Almidón de plátano

Lii *et al* (1982) investigaron las propiedades físicas y químicas del almidón de plátano y encontraron las siguientes características el tamaño que presentan los gránulos va de 20 a 60 μ ; la temperatura de gelatinización del almidón presenta rangos de 74 a 83°C, el patrón de difracción de rayos X es de tipo B con patrones de hinchamientos restringidos y la amilosa que

constituye el almidón presenta baja afinidad por todo. En este estudio no se reporta cual variedad de plátano se estudio.

Así mismo, Kayisu et al. (1981) caracterizaron el almidón proveniente del plátano Valery; y encontraron que la relación de pulpa y piel para el plátano inmaduro es de 1.20.1 y que este se incrementa con la maduración. El contenido de almidón fue de 20 a 25 g/100g de fruto. La forma y tamaño de los gránulos de almidón de este tipo de plátano fue muy irregular, y los picos de viscosidad encontrados durante la observación del comportamiento en pastas obtenidas al calentar una suspensión de 8 g de almidón/100ml de agua fueron similares a los encontrados para yuca y sagu, pero mas bajo que los reportados para papa y camote. Y más alto que los de almidón proveniente que los de cereales cerosos. Lo mismo que en los cereales, el almidón de plátano a altas concentraciones presento retrogradación pronunciada durante el enfriamiento, mientras que en los patrones de hinchamientos y solubilidad fueron menores para los almidones de papa y yuca.

En un estudio de la transformación del almidón durante la maduración del plátano y el comportamiento de la amilosa y amilopectina, se encontró que aunque la concentración de almidón va decreciendo con el tiempo, la relación amilosa/amilopectina se conserva. Por otro lado, los gránulos de almidón observado en el microscopio electrónico, presentan una estructura mas suave, disminuyen de tamaño y presentan cierto agrietamiento en su superficie (García y Lajolo, 1998).

Bellos-Pérez et al. (1999). Analizaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de dos variedades de plátano verde, denominados "macho" y "criollo" desarrollados en el estado de Guerrero ambas presentaron composición química similar, excepto en el contenido de cenizas, que fue aproximadamente tres veces mas elevado en la variedad del macho que en la variedad del criollo. Las dos variedades estudiadas presentaron diferente rendimiento de almidón durante la extracción. La gran diferencia entre el valor azul obtenido para cada uno (macho 0.18 y criollo 0.67) sugiere diferencia entre los niveles de amilosa y amilopectina. La solubilidad y capacidad de retención de agua fueron similares para las dos variedades pero el índice de

hinchamiento fue mayor que en las muestras de plátano macho, sin embargo tanto la solubilidad, capacidad de retención de agua e hinchamiento se incrementan al intensificar la temperatura. Los dos tipos de almidón presentaron baja estabilidad a los ciclos de congelación -descongelación, por lo que los autores no recomiendan el uso de ninguna de las dos variedades en productos congelados.

En cuanto a los parámetros de color que presenta el almidón de plátano utilizando el sistema Hunter y claridad en transmitancia (T) Aparicio (2003) reporta luminosidad (L) 73.6 ± 1.2 índice de saturación 15 ± 0.5 y solo 0.1 % de T en geles al 5%. La reducción de blancura y claridad con respecto a los almidones comerciales de maíz y yuca no solo afecta la calidad sino por consiguiente el precio.

Dos de las características más importante para determinar el uso industrial del almidón de plátano verde son su inestabilidad a las temperaturas de congelación y la resistencia a la digestibilidad en el intestino del hombre (Bello *et al* 1999^a). Este último aspecto, representa una ventaja en planes de alimentación, bajos en calorías al no contribuir con la cantidad de energía que proporciona cada gramo de carbohidrato al ser digerido, además proporciona fibra dietaria cuando se utiliza como componentes de raciones alimenticias. Debido a su baja digestibilidad (almidón resistente), in vivo parte del almidón escapa a la digestión acumulándose en el ilium en forma de gránulos o fracción insoluble (Faisant *et al* 1995). Esta característica ha sido relacionada con el alto contenido de amilosa, motivo por el que los almidones altos en amilosa como el proveniente del plátano ha sido utilizado como componentes importantes en los medios de cultivo para el desarrollo de bacterias probióticos tales como lactobacillus, acidophilus y bifidobacterium (Brown *et al*, 1998).

2.9 Almidón resistente

Durante mucho tiempo se considero al almidón como un carbohidrato digerido y absorbido totalmente en el intestino delgado, Sin embargo, actualmente se conoce que una porción del almidón presente en los alimentos, es llamado almidón resistente (AR), escapa a la digestión enzimática en el

intestino delgado y es fermentada en el colon por la microflora colonial (Shalmai *et al*, 2003).

El almidón resistente (AR) se define actualmente como la suma del almidón y productos de la degradación de almidón no absorbido por el intestino delgado de individuos sanos, esta definición surgió de diferentes grupos de trabajos de la comunidad europea en un proyecto conocido como EURESTA (Topping y Clifton 2001; Lajolo y Wenzel 2006).

El contenido de almidón resistente es un alimento muy dependiente del grado de procesamiento de un alimento, el cual puede resultar en un incremento o decremento en su contenido con respecto al encontrado en su forma cruda. Debido a esto, el AR debe ser medido en los alimentos como estos normalmente son consumidos (Champ *et al*, 2003).

2.9.1 Clasificación del AR

El almidón resistente consta de diferentes fracciones que contribuyen al total del almidón indigestible en los alimentos. Originalmente se clasifican en tres tipos; actualmente se conocen cuatro tipos de AR (cuadro 12) (Lajolo y Wenzel, 2003).

El **AR1** se encuentra en granos y semillas parcialmente molidas, leguminosas como frijoles o lentejas son principalmente fuentes de este tipo de almidón, debido a que se encuentra atrapado dentro de la pared celular (Champ *et al* 2003)

El **AR2** corresponde a los gránulos de almidón nativo, los cuales presentan fracciones no gelatinizadas de almidón y en el caso particular de aquellos almidones que muestran un patrón de difracción de rayos X tipo B, el cual se caracteriza por un arreglo cristalino del tipo hexagonal, que lo hace menos accesibles a la hidrólisis enzimática, provocando una disminución de su digestibilidad; en esta categoría se encuentran los almidones de papa y plátano (Champ *et al*, 2003).

El **AR3** se forma después de tratamientos térmicos en condiciones de alta humedad y temperatura, y consistente principalmente en amilasa retrograda,

cuya estructura esta constituida por cadenas de amilosa en forma de doble hélice, unidas entre si por puentes de hidrogeno. Esta estructura es responsable de innacebilidad a los enzimas de digestivas del tracto gastrointestinal humano. Esta fracción puede encontrarse en un número de alimentos que hayan sufrido un proceso tecnológico culinario que implique un calentamiento y posterior enfriamiento. El AR3 presenta unas características tecnológicas que le confieren una gran importancia, de tal manera que su cantidad puede ser controlada mediante una manipulación tecnológica adecuada. Las principales características físicos-químicas de esta fracción son las siguientes: (a) Es atacable in Vitro por la α -amilosa previa dispersión en álcali concentrado (KOH o DMSO); (b) esta constituida principalmente por amilasa retrogenada; (c) presenta una estructura cristalina correspondiente a un diafractograma del tipo B; (d) su entalpía de fusión varia entre 8-30Ug, (transición endotérmica a 150°C); (e) su grado de polimerización se encuentra entre 33 y 65 unidades de glucosa; (f) a esta fracción, contribuye la amilopectina retrograda (Escarpa y Gonzáles, 1997).

El **AR4** incluye la estructura de los alimentos modificados por tratamientos químicos como la esterificación y esterificación; así como también almidones entrecruzados (Champ *et at*, 2003).

Cuadro 13 Ejemplos de los tipos de AR presentes en los alimentos.

Tipos de AR	Ejemplos
AR1 Físicamente inaccesible	Granos y semillas parcialmente molidos
AR2 Gránulos resistente	Almidones de papa, plátano verde algunas legumbres
AR3 Retrogradado	Papa cocida y enfriada, pan, hojuelas de maíz
AR4 Químicamente modificado	Almidones eterificados o entrecruzados /usados en alimentos procesados

Fuente; Topping y Clifton, 2001

Los productos de cereales son la fuente mas importante del almidón de la dieta, pero de acuerdo a determinaciones in Vitro, los panes basados en harina

de trigo contienen cantidades llamadas AR del 2% al 8% (en base almidón). Otro parámetro nutricional extensamente discutido se relaciona con la tasa de hidrólisis de almidón y la respuesta glucémica. El almidón en muchos productos de cereales es rápidamente digerido y absorbido, resultando en un alto contenido de glucosa en sangre y en una alta respuesta insulínica desfavorable después de una comida. Esto es particularmente verdadero con productos de panificación basados en la harina de trigo. Los factores alimenticios que incrementan la formación de AR también reducen la tasa de digestión y absorción en el intestino delgado. Sin embargo la formación de AT en relación a la glucemia que se presenta después de dos horas de digestión (postprandial) no ha sido completamente aclarada (Englyst y Hudsons, 1996).

2.9.2 Efectos fisiológicos del almidón resistente

Son varios los efectos fisiológicos que se le han atribuido al AR, los cuales han probado ser benéficos a la salud (Sajilata *et al* 2006). Las funciones que tiene el AR son similares a la fibra dietética, dentro de las cuales se encuentra; efecto prebióticos de la microflora del colon, alteración del metabolismo de los lípidos, mejora el metabolismo del colesterol y reduce el riesgo de la colitis ulcerativa y cáncer de colon; Puesto que el AR no es digerido en el intestino delgado, se reduce el índice glucémico del alimento (Shamai *et al*, 2003).

El comportamiento del AR tiene importantes implicaciones para su uso en la formulación de alimentos para personas con ciertos tipos de diabetes. En el colon, el AR incrementa el bolo fecal, disminuye el pH de este y la porción fermentada produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC), primeramente acetato, propionato y butirato. La producción de ácidos grasos tiene un efecto positivo en la salud del intestino, incluyendo incremento en la absorción del magnesio y calcio, proliferación epitelial, balance de especies bacterianas y metabolismo bacterial de las sales biliares (Haralampu, 2000).

CAPITULO III

3.1 Generalidades de las harinas

La diversificación de usos de harinas distintas a la del trigo para panificación se ha desarrollando recientemente con el fin de reducir costos. Además, la elaboración de harinas permite conservar materias primas.

Los productos resultantes pueden ser conservados por varios meses. El plátano en México y a nivel internacional se consume como fruto fresco. Al ser una fruta climatérica se deteriora fácilmente. Con los excedentes hay pérdida, pues existe falta de aplicación tecnológica en la industria alimenticia.

Harinas de diferentes, orígenes como la de yuca, arroz, cebada, soya, etc., han sido utilizadas como aditivos, alimentarios en el área de panificación y pueden ser utilizadas como suplementos de la harina de trigo, obteniendo con ello productos, mas diversificados, con características sensoriales y texturales diferentes (Zuleta, 2004)

De acuerdo con el CODEX STAN 152-1985 la harina se refiere al polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. la elaboración de harinas permite conservar materias primas sin deterioro en condiciones ambientales debido a su baja actividad de agua.

Las harinas son un alimentos ricos en carbohidratos cuya función principal es proporcionar la energía que necesita el organismo para su funcionamiento y para que pueda llevar a cabo todas las actividades diarias. Las harinas forman parte del grupo de alimentos energéticos y ocupan un papel importante en el contexto de una alimentación bien balanceada, siendo su aporte alrededor del 55 % del total de las calorías que una persona debe consumir.(Zuleta, 2004)

En el grupo de las harinas se encuentran los tubérculos, como la papa, la arracacha y la yuca, los plátanos, los cereales, como el trigo, la avena, la cebada, el centeno, maíz y el arroz, y las leguminosas como frijol, garbanzo y lentejas; que poseen una importante cantidad de carbohidratos, además de proteínas. (Zuleta, 2004).

Cuadro 14 Composición química de diferentes variedades de harinas

Alimento	Peso neto (g)	Energía (Kcal.)	Proteínas (g)	Lípidos (g)	Hidratos de carbono (g)	Fibra (g)
Harina de Frijol	38	110	7,4	0,7	19	1,5
Harina de Garbanzo	33	117	6,6	2,2	19	1,5
Harina de Haba	33	114	9,1	0,6	19	0,6
Harina de Lenteja	33	108	8,1	0,5	19	1,3
Harina de Soya	25	108	9,3	5,1	7,8	2,4

Fuente: Aparicio 2000

3.1.1 Características Organolépticas

Las harinas deben ser suaves al tacto; al cogerla con la mano debe tener “Cuerpo” pero sin formar conglomerado, pues esto nos indicara que es una harina con bastante humedad. No debe tener mohos, ni estar rancia, ya que esto indicaría que son harinas viejas o que están mal conservadas. (Calavera; 2004)

Si una harina tiene un sabor amargo, suele ser de semillas adventicias, y si tiene sabor dulce, puede contener harina de trigo germinado. Por lo tanto, una buena harina debe ser;

1. Con color marfil o crema
2. No debe tener moho
3. No debe tener olores anormales
4. Que sea suave al tacto
5. Que no tenga acidez, amargo o dulzón

Por lo tanto, las condiciones generales para tener una harina normal son:

- 1) Estar en perfectas condiciones (color, sabor, olor)
- 2) Proceder de materias primas que no estén: Alteradas, adulteradas y contaminadas.
- 3) Estar exenta de; Gérmenes patógenos, toxinas y microorganismos perjudiciales (bacterias, mohos)
- 4) No sobre pasar limites de plagas

El termino harina se emplea para la elaboración de pan, pastas alimenticios o galletas, tortillas, botanas, sin embargo en las sociedades desarrolladas se ha observado en los últimos años una gran disminución en el consumo de panqueques, provocada principalmente porque han perdido prestigio en la dieta, porque se ha menospreciado su contenido en nutrientes. El Panquehue (hot cakes) es un pan delgado que puede tener un relleno dulce o salado,

El plátano representa uno de los principales frutos en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial. Esta fruta se consume madura, debido a su alto contenido de azúcares o inmadura en varios platillos indígenas que requieren alto contenido de almidón. En México y otros países latinoamericanos, el plátano se consume maduro, por ello grandes cantidades se pierden durante su comercialización, como consecuencia de su deficiente manejo **poscosecha** (Rodríguez-Ambriz *et al*, 2007). Debido a esto se han considerado nuevas estrategias económicas para el uso de este fruto, además de que varios autores indican que el plátano presenta un elevado contenido de almidón resistente, siendo este un componente importante para la salud (Englyst *et al*, 1992; Faisant *et al*, 1995). Dentro de la producción de bananos, Tabasco es uno de los principales exportadores de este fruto, al igual existe un gran porcentaje de bananos que no cumplen con los estándares de calidad exigidos por los mercados internacionales, a los cuales se les denomina bananos de rechazo o de desecho y estos se comercializan internamente para ser utilizados en la alimentación animal así como también están siendo utilizados para la obtención del almidón (Juárez-García *et. al*; 2006).

La harina de plátano presenta características químicas y físicas distintas a la del trigo, tal como una alta concentración de almidón; por lo que puede ser una buena fuente de energía en la alimentación y aprovechada a nivel mundial.

El uso de la tecnología de panificación para el uso de la harina de banano puede tener el sentido muy ambicioso ya que se ha demostrado que el almidón de plátano es poco digerible por el estomago por su alto contenido de fibra y almidón resistente (Juárez-García *et. at*; 2006).

3.2 Alimento funcional

El concepto de alimento funcional, fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80 refiriéndose a aquellos alimentos procesados los cuales contiene ingredientes que además de cumplir su función nutricional tienen un efecto benéfico en las funciones fisiológicas del organismo humano (Arai, 1996).

En Europa se define a los alimentos funcionales como “Alimentos que satisfactoriamente han demostrado afectar benéficamente una o mas funciones específicas en el cuerpo, mas allá de los efectos nutricionales adecuados en una forma que resulta relevante para el estado de bienestar y salud o la reducción de riesgo de una enfermedad”

Hasta la fecha, ha sido muy difícil llegar a un concepto general de lo que es un alimento funcional, puesto que no realidad todos los alimentos podrían considerarse como alimentos funcionales ya que todos contribuyen en mayor o menor proporción para lograr una salud optima en las personas que los consume.

Debido a que los alimentos funcionales representan un concepto más que un conjunto bien definido de productos alimenticios, 1999 en el Documento de Consenso del proyecto de la Unión Europea referido a la Acción Concertada sobre Ciencia de los Alimentos Funcionales en Europa (FUFOSE) propuso lo siguiente;

“Un alimento puede considerarse funcional si se demuestra satisfactoriamente que ejerce un efecto benéfico sobre uno o mas funciones selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de tal modo que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, reduce el riesgo de enfermedades, o ambas cosas. Los alimentos funcionales deben seguir siendo alimentos, y se deben demostrar sus efectos en las cantidades normalmente se consumen en la dieta. No se trata de comprimidos ni capsulas, sino los alimentos que forman parte de un régimen normal”,

Desde el punto de vista práctico, un alimento funcional puede ser;

1. Un alimento al que se añado un componente para que produzca beneficios ejemplo; bacterias, probióticos seleccionadas, que tiene efecto benéficos sobre la salud intestinal
2. Es un alimento natural en el que uno de sus componentes ha sido mejorado mediante condiciones especiales de cultivo.

Dentro de gama de alimentos funcionales están los prebióticos y probióticos

Prebióticos; Componente alimentario no digeribles que ejerce efectos benéficos en le huésped al estimular selectivamente al crecimiento o modificar la actividad metabólica de una especie de bacteria colonica, o de una cantidad limitada de esas especies, capaces de mejorar la salud del huésped.

Probióticos microorganismo vivos que el ser agregados como suplemento en la dieta, favorecen el desarrollo de la flora microbiana en el intestino y estimulan las funciones protectoras del intestino digestivo (Cagigas y Balnco, 2002)

3.2.1 Beneficios de los alimentos funcionales

Muchas de las enfermedades crónicas están estrechamente relacionadas con la dieta alimenticia (Jones, 2002) . Se ha observado que el consumo de alimentos con alto contenido de grasa saturada, baja en carbohidratos complejos y con pocos micronutrientes, combinada con una vida sedentaria, esta directamente relacionado con un aumento en la incidencia de enfermedades como la obesidad, hipertensión, problemas cardiovasculares, osteoporosis y cáncer. Todas estas enfermedades causan incapacidad en las personas y aumentan los costos de los servicios de salud pública.

Es por esto que se ha incrementado la necesidad de producir alimentos para la prevención y control tanto de la “deficiencia” como de “excesos” y el concepto de alimento funcional, asociado a los desarrollos tecnológicos tiene mucho que aportar

CAPITULO IV

4.1 MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de harina se utilizaron tres variedades de plátano verde: *Musa paradisíaca* variedad Macho, *Musa balbisiana* variedad cuadrado y *Musa plantain* variedad Manzano. Los frutos fueron cosechados en la región de Cucuyulapa, municipio de Cunduacan, Tabasco, México. Las harinas comerciales fueron adquiridas en un centro comercial.

4.2 Caracterización de las variedades de plátanos

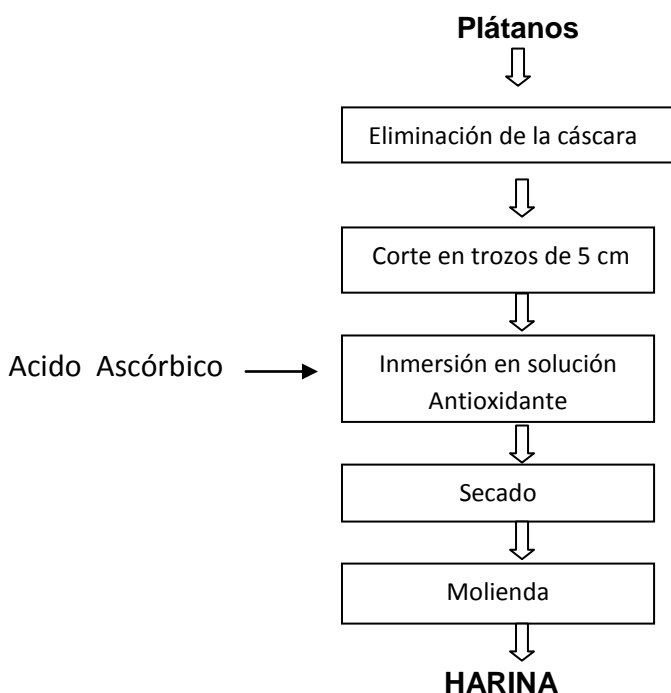
Los sólidos solubles fueron medidos con un refractómetro digital marca Atago y se expresaron como °Brix. El valor del pH fue medido con un potenciómetro portátil marca Labequin modelo PC 18 de acuerdo a lo descrito Moreno (2003) y para acidez titulable se utilizó el método del AOAC (2000). Cada una de las características físicas determinadas se evaluaron por triplicado de acuerdo a Ditchfield (2004).

4.3 Obtención de la harina de plátano

La materia prima fue procesada de acuerdo al método modificado de Pacheco *et al* (2006), como se muestra en la Figura 7. Las variedades de plátano se pesaron con y sin cáscara para determinar la porción de la harina, cuyo valor se obtuvo dividiendo el peso de la harina plátano entre el peso del plátano sin cáscara multiplicado por 1 kilogramo (Ganga y Corke, 1999).

Los plátanos de cada variedad fueron pelados y cortados en rodajas de 5 a 6 cm; inmediatamente, las rodajas se vertieron en una solución de ácido ascórbico (10 g L⁻¹ de agua), posteriormente fueron colocados en bandejas y sometidos a un proceso de secado a una temperatura de 60°C durante 48 horas. Estos fueron molidos en una licuadora industrial marca Tapisa y tamizados en una malla número 100 y finalmente envasados en botes de plásticos.

Figura 7 Esquema general para la obtención de harina de plátano verde



4.4 Análisis de las variedades de harina

La composición química proximal se evaluó por triplicado para humedad NMX-F.428-1982, NMX-F-066-S-1978 cenizas, NMX-F-068-1980 proteína, para las grasas se utilizó el método oficial 30-25 de la AOAC (2000) y el de carbohidratos totales se calculó por diferencia de acuerdo Schmidt y Nielsen (2003)

4.5 Determinación de minerales

El contenido de minerales se determinó mediante un espectrofotómetro de Absorción Atómica sin flama, modelo Spectra 220FS, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con flama, y su cuantificación por colorimetría..

4.6. Caracterización de las variedades de las harinas

4.6.1 Actividad de agua.

Se caracterizó empleando un equipo para medición de actividad de agua marca Aqua Lab, modelo Decagon, WA, EE.UU. Se utilizaron 2 g de muestra de harina tomando las lecturas de forma directa del equipo.

Figura 8 Equipo de medición de actividad de agua (AW)



4.6.2 Evaluación del Color

En la medición del color en harinas se utilizó un colorímetro Hunter Lab, modelo D-2T-A-DP, 900, calibrado con una placa blanca de porcelana. Las determinaciones se realizaron de la forma siguiente: se colocaron 50 g de harina en un recipiente de vidrio ancho y 2 cm de profundidad se midieron los valores de L^* , a^* y b^* , los resultados se expresaron como diferencias de color (DE) Entre el control (harina comercial) y las harinas de plátano calculándose como sigue:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

DONDE

ΔL se calculó como L muestra – L control

Δa se calculó como a muestra- a control

Δb se calculó como b muestra- b control

Figura 9. Colorímetro Hunter Lab.



4.7 Características fisicoquímicas de harina

4.7.1 Índice de absorción de agua (IAA).

Se utilizó el método descrito por Anderson *et al.*, (1969). Una muestra de 2.5 g de harina se mezcló con 30 ml de agua a 30°C en un tubo de 50 ml para centrifuga, previamente tarado, se agitó intermitentemente a una velocidad moderada por 30 min. La suspensión se centrifugó a 2600xg durante 10 min a 30 °C, utilizando una centrifuga marca Hermle, modelo Z513K. Después de centrifugar la solución, el líquido sobrenadante se decantó en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El gel formado se pesó y el índice de absorción de agua se calculó con este peso, expresado como g gel/g MS. Esta medición se llevo a cabo con tres repeticiones por cada harina evaluada.

4.7.2 Índice de solubilidad en agua (ISA).

Se midió siguiendo el método reportado por Anderson *et al.*(1969). Se evaluó pesando los sólidos obtenidos del sobrenadante de la prueba del índice de absorción de agua, después de evaporar el agua en una estufa. Este índice se expresó como el porcentaje de sólidos secos en 2.5 g de muestra.

4.8 Análisis de biodisponibilidad

4.8.1 Almidón total

Se determinó utilizando la técnica de Goñi *et al.* (1997) que se fundamenta en una hidrólisis completa del almidón y la cuantificación de la glucosa libre mediante un test enzimático que contiene glucosa oxidasa y peroxidasa.

4.8.2 Almidón resistente

Se determinó por la técnica citada por Goñi *et al.* (1996) Se realizó una hidrólisis proteica con pepsina a pH ácido para simular condiciones estomacales. Posteriormente se hidroliza el almidón digerible con α amilasa pancreática durante 16 h con un pH cercano a la neutralidad.

4.9 Elaboración de los hot cakes

La preparación de hot cakes se llevo a cabo con 3 diferentes tipos de harinas de plátano y 2 tipos de harina de trigo como referencia. Para cada uno se preparó por triplicado. Para la preparación de los hot cakes se siguieron las instrucciones del fabricante, se utilizó $\frac{3}{4}$ taza harina, mantequilla, huevos y leche. Todos los ingredientes se mezclaron con una batidora Modelo Oster por 5 min. a velocidad 2 hasta que se obtuvo una mezcla consistente, Se precalentó la wafflera Modelo Oster, se engrasó las planchas de cocción con un poco de mantequilla y se agrego 1 taza de la mezcla y se dejo cocinar durante 2 min. y medio, finalmente este último se secó durante 48 horas a 60°C estos fueron molidos y finalmente envasados.

4.9.1 Análisis de los hot cakes

Los componentes químicos (humedad, cenizas, proteína y grasas), se determinaron de acuerdo a los métodos oficiales descritos anteriormente, el contenido de carbohidratos se cuantifico como se explicó anteriormente.

La cantidad de almidón total y resistente presente en los hot cakes se determino utilizando la técnica de Goñi et al. (1997) y (1997). El color se midió utilizando un colorímetro Hunter Lab, modelo D-2T-A-DP, 900, Se obtuvieron los valores de L (Claridad), a (cromaticidad rojo-verde) y (cromaticidad amarillo/azul).

4.10 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se utilizó un análisis de varianza de una vía con un nivel de insignificancia $\alpha= 0.05$ utilizando el paquete estadístico StatGraphics Centurion 2010. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las muestras se utilizó una prueba de comparación múltiple de LSD.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUCION

5.1. Caracterización de las variedades de plátanos

En el cuadro 15 se presenta las características físicas de las variedades de los plátanos. Se observa poca variación en los valores para el pH y acidez en cada variedad y hay similitud en valores con los datos obtenidos por Ditchfield (2004). En relación a los sólidos solubles los valores de este estudio también tienen una relación a lo establecido por Ditchfield (2004).

Cuadro 15 Caracterización química de las variedades de plátano en comparación con los datos publicados por Ditchfield (2004).

	PM	PMANZ	PC	Datos de la 1era etapa
pH.	5.50±0.41	5.55±0.03	5.54±0.25	5.3 ± 0.1
Acidez titulable	0.19±0.02	0.31±0.01	0.13±0.07	0.24± 0.03
Sólidos solubles	5.0±1.0	5.0±1.0	4.33±1.52	5 ± 2

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones ± desviación estándar. PM *Musa paradisiaca* var. Macho, PMANZ *Musa plantain* var. Manzano y PC *Musa balbisiana* Colla var. Cuadrado

5.2 Rendimiento del plátano

El rendimiento de Platano macho, Plátano cuadrado y Platano manzano para la obtención de harinas fue del 23Kg/100kg, 28kg/100Kg y 18Kg/100Kg respectivamente. Oswaldo y Pacheco-Delehay (2008); obtuvieron un rendimiento de 27kg/100kg utilizando banano verde (*Musa AAA*), y Ovando (2008) obtuvo un rendimiento del 18.66kg/100kg de harina utilizando plátano verde (*Musa paradisiaca L*).

5.3 Composición químico de las variedades de harinas

En el cuadro 16 se muestran los resultados del análisis químico proximal de las harinas de las tres variedades de plátanos. El contenido de proteína promedio de las tres variedades de harina fue de 3.94 %, valores que son similares dentro de los reportados por Soto Saraya, (2010), con un promedio de (3.32%). La concentración de grasa varió entre 0.21 y 0.33 %, lo cual dependió del tipo de plátano; presentando los menores valores la HPM y HPC, valores similares fueron reportados por Juárez-García *et al.*, (2006), quienes indican

que en la harina de plátano tiene un menor contenido de grasas que las harinas comerciales, La humedad promedio varió de 2.54 a 3.48 %, comparado con lo reportado Da Mota *et al* (2000) (4-6 %). Estas diferencias en el contenido de humedad pueden ser debido al método y tiempo de secado utilizado, un porcentaje en el contenido de humedad mayor al 14%, en harinas favorece el crecimiento de hongos y producirse pérdidas importantes durante su almacenamiento (NMX-F-007-1982).

Cuadro 16. Valores de composición química en las variedades de harinas

Harina	Proteínas	Humedad	Grasas	Carbohidratos	Cenizas
Plátano					
HPM	4.09 ± 0.07 _a	2.54 ± 0.06 _a	0.21	81.85±0.96 _a	2.90 ± 0.03 _a
HPMANZ	4.03±0.30 _b	3.48 ± 0.01 _b	0.81	82.08±0.33 _b	2.81 ± 0.02 _b
HPC	3.72±0.72 _c	3.11 ± 0.01 _c	0.7	81.21±0.08 _c	2.54 ± 0.04 _c
Comerciales					
HPT	12.56 ± 0.2 _d	5.74 ± 0.05 _d	2.11	66.00±0.49 _d	4.33± 0.02 _d
HGT	8.55 ± 0.3 _e	5.50 ±0.03 _d	1.11	67.68±0.24 _e	5.16± 0.03 _e

Los valores son la media de tres repeticiones y Desviación estándar HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado, HPT harina pronto tradicional, HGT harina gamesa tradicional. Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0.05).

Con respecto al contenido de cenizas, el valor obtenido fue entre 2.54 a 2.90 %. Fue similar a lo reportado por Navia *et al.*, 1995, (2.5 %) en harina de plátano, por otro lado porcentajes menores de cenizas han sido también reportados en un estudio realizado en harinas de plátano de diferentes variedades (Da Mota *et al.*, 2000). Estas diferencias encontradas en el contenido de cenizas pueden ser atribuidas a la materia prima (plátanos), ya que estos provienen de diferentes regiones de cultivo y las características agronómicas de la variedad o híbrido utilizado son diferentes (Cerqueira *et al*, 2005).

5.4 Composición de minerales

En el cuadro 17 se muestra el contenido de minerales de las harinas de más altos en el contenido de calcio y hierro que las harinas de plátano; esto puede ser consecuencia de diferencias en el contenido de estos elementos en las materias primas; por ejemplo el trigo contiene aproximadamente 58 mg/100 g de calcio, y el plátano contiene 4 veces menos de calcio (Hernández *et al.*, 1987). En relación con el hierro, el trigo contiene 0.9 mg y el plátano 1.4 mg; por lo tanto es de suponerse que las harinas comerciales han sido enriquecidas

con hierro; en tanto que la harina de plátano contiene mayor contenido de potasio que los trigos (Cano et al., 2005).

Cuadro 17 Composición de minerales de las harinas de plátano y harinas comerciales

HARINAS	Na %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm
HPM	0.01	0.74	0.02	0.13	39	1	5	8.5
HPMZO	0.01	0.95	0.01	0.16	20	1	3.5	8
HPC	0.01	0.97	0.02	0.19	37	1	3	6.5
HT	0.0025		0.0015		0.0045			
HPT	1.41	0.29	0.3	0.05	127	15	12	65
HGT	2.27	0.11	0.29	0.03	163.5	0.5	8.5	9.5

HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado, HPT Harina pronto tradicional, HGT harina Gamesa tradicional

5.5 Caracterización de las variedades de las harinas

5.5.1 Porcentaje de actividad de agua.

En el cuadro 18 se observan los resultados de actividad de agua (A_w). Ningún valor supera el intervalo estándar para la proliferación de microorganismos. La menor actividad de agua, la muestra de harina de plátano cuadrado HPC (0.577). Los valores determinados se encuentran en un intervalo seguro para almacenar el material sin que presente daño microbiológico (Cruz, 2005). La actividad de agua (A_w), es un parámetro importante en los alimentos ya que indica el grado de susceptibilidad a la proliferación de microorganismos patógenos y deteriorativos. En general, alimentos con A_w menores de 0.7 tendrán un daño microbiológico mínimo si se almacenan en condiciones apropiadas; por el contrario, valores superiores aumentan dicha susceptibilidad (Ponce, 2004). Por el contrario, alimentos con actividad de agua arriba de este valor, dicha susceptibilidad aumenta considerablemente. La harina se encuentra con A_w bajo (abajo de 0.6) (cuadro 17) y en consecuencia se considera que la cosecha y el almacenamiento posterior se han llevado a cabo observando las buenas prácticas agrícolas, virtualmente no existe riesgo microbiológico en las harinas. En este experimento para esta variable se encontraron diferencias significativas entre las diferentes harinas analizadas.

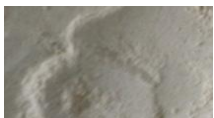

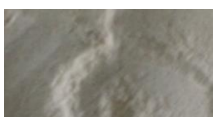

Cuadro 18 Porcentaje de Actividad de agua (Aw) de harinas de plátanos y harinas comerciales.

Harina	Actividad de Agua (aw) (%)
HPM	0.61±0.05 _b
HPMZO	0.68±0.01 _d
HPC	0.57±0.01 _a
HPT	0.63±0.05 _c
HGT	0.63±0.04 _c

Cuadro 17 Los valores son la media de tres repeticiones y Desviación estándar HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado HPT harina pronto tradicional, HGT harina gamesa tradicional. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa LSD ($p < 0.05$). Aw = actividad de agua.

5.6 Evaluación del color en harinas de plátano y harinas comerciales

Cuadro 19 Parámetros del color en harinas con el sistema Hunter Lab

Harina	L*	a*	b*	ΔE	Fotografía
Harina de plátano Macho	78.9 _b	2.15 _d	18.95 _d	14.05	
Harina de Plátano Manzano	48.4 _a	2.55 _d	18.89 _c	42.98	
Harina de Plátano Cuadrado	80.6 _c	1.35 _c	18.89 _c	13.5	
Harina Comercial	92.3 _d	0.37 _a	11 _b	0	

Cuadro 19 Los valores son la media de tres repeticiones y Desviación estándar HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado HPT harina comercial. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa LSD ($p < 0.05$). Aw = actividad de agua.

Los resultados se presentan en el cuadro 19. La más baja diferencia en relación a la harina comercial se encontró en la harina de plátano manzano y también la de plátano criollo. Se puede observar que la harina de plátano manzano es la que tuvo mayor diferencia estadística en relación a la harina comercial: siendo la harina de plátano más oscura, debido a la oxidación de sustratos fenólicos que produce la enzima polifenol oxidasa (PPO) (Pacheco-Delahaye *et al* 2008). La harina de plátano cuadrado (HPC) obtuvo el valor más

alto de blancura. Los valores de a (rojo) fueron muy bajos para la harina comercial; y ligeramente mas altos para las harinas de plátano. Los valores de b (amarillo) fueron también más bajos en las harinas comerciales y más altos en las harinas de plátano. Otros autores Abbas *et al.* (2009) obtuvieron valores de la variedad de plátano Cavendish de $L = 67.29 \pm 2.30$, $b = 20.55 \pm 1.88$ y $a = 4.79 \pm 0.90$, las diferencias de color pueden ser debido a la variedad de plátano y tratamiento antioxidante utilizado en cada metodología.

5.7. Características fisicoquímicas de las harinas

Cuadro 20 Caracterización fisicoquímica de las harinas de plátano y comerciales

Harina	IAA% (g gel/g)	ISA% (%sólidos)
Plátano		
HPM	2.50±0.11 _a	5.6±2.1 _a
HPMZO	2.23±1.11 _b	4.0±0.0 _a
HPC	3.18±1.02 _c	7.0±1.7 _a
Comerciales		
HPT	2.07±0.32 _a	8.8±6.9 _a
HGT	2.07±0.32 _a	8.8±6.9 _a

Valor promedio en porcentajes de tres repeticiones HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado, HPT harina pronto tradicional, HGT harina gamesa tradicional. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa LSD ($p < 0.05$) Letras iguales No existen diferencias estadísticamente significativas

5.7.1 Índice de absorción de agua (IAA).

El índice de absorción de agua es una medida que tiene la harina para retener el agua en forma permanente, En el cuadro 20 se puede observar que la harina que presento mayor índice de absorción de agua fue la harina de plátano cuadrado (HPC), esto puede deberse a la composición de almidones de cada especie. Así la amilopectina se encuentra relacionada con la capacidad de hinchamiento mientras que la amilosa inhibe esta propiedad, además de que un índice de absorción de agua alto proporcionara un producto con mayor peso por la cantidad de agua que se pueda retener.

5.7.2 Índice de solubilidad de agua (ISA).

En el caso del índice de solubilidad de agua, la harina plátano cuadrado (HPC) fue la que tuvo los valores mas altos, esto quiere decir que esta harina posee mayor contenido de sólidos que son disueltos por el agua cuando se somete a un exceso de ella a temperatura ambiente. La solubilidad en harina de plátano pueden ir en aumento en función de la temperatura, esto debido a

que posee mayor cantidad de sólidos solubles tales como carbohidratos de bajo peso molecular (Oswaldo y Pacheco-Delahaye, 2000).

5.8 Análisis de biodisponibilidad

Cuadro 21. Contenido de almidón total y resistente de harinas de plátano verde y harinas (testigos).

Harina	AT (%)	AR (%)
Plátano		
HPM	43.80±0.03 _a	2.49±0.05 _c
HPMZO	54,20±0.03 _b	1.72±0.04 _b
HPC	45.12± 0.02 _c	1.04±0.07 _b
comerciales		
HPT	38.22±0.05 _d	0.70±0.01 _a
HGT	39.60±0.02 _e	0.71±0.60 _a

Valor promedio en porcentajes de tres repeticiones HPM harina de plátano macho, HPMZO harina de plátano manzano, HPC harina de plátano cuadrado, HPT harina pronto tradicional, HGT harina gamesa tradicional Letras diferentes indican diferencia estadística significativa LSD ($p < 0.05$) Letras iguales no existen diferencias estadísticamente significativas

5.8.1 Análisis de almidones

En el cuadro 21 se presentan los resultados del contenido de almidón total (AT) en las cinco variedades de harinas evaluadas observándose diferencias. El valor mas alto AT (64.0 %) se registro en la harina de plátano macho mientras que en las harinas testigo se obtuvieron un valores mas bajo (38.2 y 39.6% para HPT y HGT respectivamente). Era de esperarse que el contenido de almidón fuera más alto en las harinas de plátano que en las harinas comerciales. Realizando un análisis de los resultados obtenidos de Almidón Total (AT), se asemejan a los resultados obtenidos por Pacheco-Delahaye 2001 en Venezuela con la variedad *Musa paradisíaca* (81%), teniendo este ultimo trabajo algunas variaciones en el método utilizado para la determinación de almidón total como por ejemplo: las enzimas de diferentes industrias, menor tiempo de hidrolizado.

El almidón resistente ha generado un amplio interés en el ámbito mundial debido a sus beneficios potenciales en la salud, así como por sus propiedades funcionales. Algunas investigaciones muestran que el AR tiene propiedades fisiológicas benéficas en humanos, pudiendo prevenir algunas enfermedades. Debido a esto, el almidón resistente puede ser considerado como un ingrediente funcional que mejora la calidad de un alimento (Voragen 1998; Pacheco-Delahaye, 2001). La presencia de altos contenidos de AR en las

harinas de plátano, hace de este producto un alimento funcional que puede ser recomendado para regímenes especiales de alimentación.

5.9 Composición química de las harinas de los hot cakes

Cuadro 22 Valores de composición química de hot cakes elaborados con harinas de variedades de plátano y harinas comerciales

Composición	Variedad de de hot Cakes				
	HCPM	HCPMANZ	HCPC	HCPT	HCGT
Proteínas	10.24 ± 0.04 _a	11.14 ± 0.02 _b	10.73 ± 0.05 _a	15.05 ± 0.05 _d	13.01 ± 0.03 _c
Humedad	2.47 ± 0.42	2.47 ± 0.25	2.90 ± 0.01	2.12 ± 0.15 _a	2.24 ± 0.18 _a
Cenizas	2.72 ± 0.02 _a	2.92 ± 0.03 _a	2.73 ± 0.03 _a	5.17 ± 0.03 _b	5.20 ± 0.03 _b
Grasas	0.91 _a	1.51 _b	1.03 _b	12.84 _d	10.62 _c

Valor promedio en porcentajes de tres repeticiones y Desviación estándar HCPM hot cakes de plátano macho, HCPMZO hot cakes de plátano manzano, HCPC hot cakes de plátano cuadrado, HCPT hot cakes de pronto tradicional, HCGT hot cakes de gamesa tradicional.

En el cuadro 22 se presentan la composición química proximal de los hot cakes preparados con las variedades de harinas de plátanos y respectivas harinas comerciales. Los valores de proteínas obtenidos quedan dentro del rango establecido por el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalente (proteína 6.57%, grasa 6.05%) esto con ayuda de la combinación de otros ingredientes (huevo 3.34% y la leche 4.8%). Esto sumado al valor de proteína de HPM 4.09 nos dan el 12.24% para el producto terminado.

5.10 Evaluación del color en los hot cakes

Cuadro 23 Parámetros del color en los hot cakes con el sistema Hunter Lab.

Hot cakes	L*	A*	b*	ΔE
HCPM	55.63 ^a	4.1 ^a	25.28 ^a	24.53
HCPMZO	52.45 ^c	3.89 ^b	21.83 ^b	29.22
HCPC	58.50 ^b	4.78 ^c	23.94 ^c	23.64
Comerciales				
HCHC	72.51 ^d	5.72 ^d	43.22 ^d	0

Los valores son la media de tres repeticiones HCPM hot cakes de plátano macho, HCPMZO hot cakes de plátano manzano, HCHC Hoc Cakes de harina comercial. Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

En el cuadro 23, se puede observar que las muestras presentaron diferencias significativas en los parámetros de color. Los hot cakes a base de harina de plátano fueron las que presentaron los valores mas alejados del blanco, esto se debe principalmente a la oxidación que sufrió la harina durante

la cocción, mientras que el hot cakes a base de harinas comerciales presento los valores de mayor luminosidad, lo cual indica que se acerca mas a la región de los blancos, los valores de a y b positivos indican que todas las muestras se dirigieron a la región de los rojos y amarillos.

5.11. Análisis de biodisponibilidad

Cuadro 24. Contenido de almidón total y almidón resistente de muestras de hot cakes

Hot Cakes Plátano	AT (%)	AR (%)
HCPM	30.87±0.30 _e	1.50±0.01 _b
HCPMZO	28.87±0.40 _d	1.43±0.02 _b
HCPC	26.82±0.54 _c	0.99±0.01 _a
Comerciales		
HCPT	14.10±0.20 _b	0.30±0.02 _a
HCGT	12.00±0.10 _a	0.28±0.01 _a

Los valores son la media de tres repeticiones HCPM hot cakes de plátano macho, HCPMZO hot cakes de plátano manzano, HCPC hot cakes de plátano criollo, HCPT hot cakes de pronto tradicional, HCGT hot cakes de gamesa tradicional. Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

En el cuadro 24 se muestran el contenido de almidón total y resistente en muestras de hot cakes elaborados con harinas de plátano verde esta variación se hace menor al tener la harina cocida o en un producto final y se hace notorio el decremento de AT, ya que se ha demostrado que se pierde una buena porción de AT al ser cocinada la harina y varios autores han determinado que este efecto es propiciado al someter la harina de plátano a cocción (Rayas-Duarte y Col; 1996).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- Se hizo una caracterización fisicoquímica, nutricional y funcional de harinas y hot cakes de tres variedades de plátano verde.
- Las características fisicoquímicas fueron iguales en las harinas de 3 variedades de plátano de harinas comerciales.
- Las características nutricionales en las variedades de plátano fueron superiores en carbohidratos, almidones resistentes, potasio y menores contenidos de proteínas que las harinas comerciales.
- Las características de color en las harinas de plátano tuvieron menor luminosidad que las harinas comerciales pero mayor (a) (rojo) y (b) amarillo.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la harina de plátano como un producto de uso diario.
- Se sugiere, realizar un estudio sensorial para saber la aceptación entre la población de hot cakes elaborados con harina de plátano.
- Se aconseja realizar un estudio de factibilidad para el uso del plátano como materia prima.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado del producto final y obtener el nivel de aprobación entre la población.

CAPITULO VIII

LITERATURAS CITADA

- Abbas, F.M.A, Saifullah, R, Yazhar, M. E. 2009. Assessment of physical properties of ride banana flour prepared from two varieties: Cavendish and Dream banana. International Food Research Journal pp 16: 183 – 189.
- Alexander, J. R. 1999. Starches used in paper. Cereal Food World, pp 44: 372.
- Anderson, R., H. F. Conway, Pheiser, and Griffin. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci. Today pp 14: 4-12.
- AOAC Official Methods of Análisis. 2000. 14 thed Association of Analytica Chemists Washington, DC. USA.
- Asp, N.G., Van Amelsvoort J. M. M. Y Hautvast, J. G. A. J. 1996. Nutritional implications of resistant Storch Nutrition Research Reviews pp 9, 1-31.
- Aparicio T.M.A., Cabrera T.B. Silvan A.B.E. 1993, Inclusión de La harina de plátano (*Musa sapientum*), en diferentes porcentajes en la tecnología tradicional de elaboración de panes. Universidad y Ciencias .pp10 (19); 111 -120.
- Aparicio T. 2000 Comportamiento fisicoquímico y reológico de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoca batata* (L) AM), plátano enano (*Musa Cavendish*). Reporte Técnico.
- Badui, D. 1993, Química de los alimentos 3⁰ Edición, Ed. Alambra, Madrid, España pp. 79-93.
- Badui Dergal Salvador 1988 Diccionario de Tecnología de los Alimentos 1⁰ Edición., Ed. Alhambra Mexicana pp. 69,82, 87, 147, 169,170, 203, 224.
- Baudi Dergal Salvador 2006. Química de los alimentos. 4⁰ Edición. ed. Pearson pp. 81-91.

- Balagopalan C. Padmaja G. Nanda, S. y Morthy, S. 1998. Cassava in food, feed and industry CRC press, U.S. A: pp 190.
- Banavet A. 1997, Conservación de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, ed. Colección libre decente pp. 52-53.
- Bello- Pérez L.A. Agama-Acevedo E. Sánchez- Hernández L. y Paredes- López O. 1999 Isolation and partial characterization of banana starches. Journal of Agricultural and Food Chemistry, pp 47: 854-857.
- Bello-Perez L. A. Sanchez- Hernandez L. Moreno-Damián E. y Agama-Acevedo E. 2001. Producción de maltodextrina y jarabe de glucosa a apartar de glucosa a partir de almidón de plátano. Conexión pp 1: 19-22.
- Bello- Pérez L.A. Contreras- Ramos S.M., Romero-Manilla R., Solorza- Feria J. and Jiménez-Aparicio, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano Musa paradisima L. (var. Macho) Agrociencias pp 36 (2); 169-180.
- Bello- Perez L.A. Ottenhot M-A, Agama-Acevedo E. and Farhat I.A. 2005, Effect of storage time on the retrogradation of banana starch extrudate. Journal of Agricultural and Food Chemistry.pp 53: 1081-1086.
- Bello-Pérez L.A. González- Soto R.A. Sánchez- Rivera M.M. Gutiérrez- Meraz y Vargas Torres A. 2006, Extrusión de almidones de fuentes, no convencionales para la producción de almidones resistentes, Agrociencia pp 40, 441-448.
- Biliaderis, C.G. 1991. The structure and interactiactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology,pp 69: 60-78.
- Bjorck I. 2000 Starch Nutricional Aspect. University of Lund, Luns Pp 505-540.
- Bowers, 1992, Food theory and Aplications Ed Maxwell Macmillan International New York Pp 69-118.

- Brown, I. L; Wang, D. L; Topping, D. L, Payne, M.J. y Conway, P. L. 1998. High amylase maize starch as a versatile prebiotic for use with probiotic bacteria. Food Australia. pp 50: 603-610.
- Byoung-Wook K., Jung-in, K., Myo-Jeong K. and Jae-Cherl K. 2003. Porcine pancreatic α -amylase hydrolysis of native starch granules as a function, of granule surface area. Biotechnology Progress, pp 19: 1162-1166.
- Cano, M.P., Sánchez-Moreno, C., Pascual-Teresa, Sonia de., y de Ancos, B. 2005. Procesado Mínimo y Valor nutricional, en González Aguilar, G.A., Gardea, A., A., Cuamea-Navarro, F. (editores). Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados. CONACYT 118-152p.
- Casanueva E. y Caufer- Horwitz, 1995 Nutriología Medica Ed. Panamericana Pp 371-372
- Casey J. Halil, K. and Okita W. T. 2000. Engineering starch for increased, quantity and quality, trends in plant Science, pp 5 291- 298.
- Cerqueira, J. S., Folegatti, M. I. S., Matsuura, F. C. A. U y Cardoso, R. L. 2004. Evaluation of dehydrated banana obtained from fruits of different genotypes. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol.40 No.6.
- Codex Standard 152-1985, Norma del Codex para la harina de trigo.
- Cruz, H. E. 2005. Estudio de las propiedades físicas y fisicoquímicas del grano, nixtamal, masa y tortillas elaboradas con maíz germinado. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. P 65-72.
- Codex Standard 152-1985, Norma del Codex para la harina de trigo.
- Colonna P., Leloup V and Buleon A. 1992. Limiting factors of starch hydrolysis. European Journal of Clinical Nutrition, pp 46, S17-S32.
- Cruz, H. E. 2005. Estudio de las propiedades físicas y fisicoquímicas del grano, nixtamal, masa y tortillas elaboradas con maíz germinado. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. P 65-72.

- Champ M., Langkilde A. M, Brouns F; Kettlitz B. And Bail-Collet Y. L. 2003 Advances in dietary fibre characterization. 2. Consumption, chemistry physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labeling. Nutrition Research Reviews, pp 16, 143-161.
- Chávez M. M, Hermanadas M. y Roldan J.A. 1992, Tablas de uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Comisión Nacional de Alimentos Del Instituto Nacional de Nutrición.
- Delcour J.A., y Eerlingen R.C. 1996. Analytical implication of the classification of resistant starch as dietary fiber. Cereal Foods World 41:85–86.
- Delville J., Joly, C., Dole, P and Bliard, C. 2002, Solid state photocrosslinked starch based films; a new family of homogeneous modified starches. Carbohydrate Polymers, pp 49; 71-81.
- Dexter F., 1984. Organization of starch granules. In: Starch Chemistry and Technology, 2 Ed. (Eds R.L. Whistler, J.N. Bemiller. E-F. Paschall), Academic Press, New York; pp.200.
- Ditchfield, C. 2004 Estudio do processamento continuo do pureza de banana. Ph.D. Thesis. Escola Politecnica, Sao Paulo University
- Dominic, W. 1885 Química de los alimentos Mecanismos y Teoría Ed Acribia SA. Pp 138-142, 361.
- Donald A.M. Kato L., Perry P.A. and Waigh, T.A. 2001. Scattering studies of the internal structure of starch granules. Starch/Stärke. Pp 53: 504-512.
- Eliasson A.C. 1996, Carbohydrate in food Marcel Dekker, New York.
- Englyst HS y Hudsons G.J, 1996. The classification and Measurement of Dietary Carbohydrates Food Chemistry. Vol 57 N1 Pp 15-21.
- Englyst K. N. and Englyst H. N. 2005, Carbohydrate bioavailability. British journal of Nutrition, pp 94, 1-11.
- Escarpa A. and Gonzales M.C. 1997, Technology of resistant starch Food Science and Technology International 3. Pp 146-147.

- Escobar, M. 1982. Identificación y caracterización de 16 clones de plátano en Tabasco. Ed Universidad Autónoma de Chapingo Pp 299-311
- Eskin M, 1990 Biochemistry of Food Procesising 2⁰ Edicion Ed. Academia Press. Inc.
- Faisant N, Gallart D; J. Bouchet B. Champ M. 1995. Banana breakdown in the, human small intestine studied by electron microscopy. European Journal of Clinical Nutrition pp 49: 98-104.
- FAO 1990, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Utilización de los alimentos tropicales, raíces y tubérculos. Estudio FAO Alimentación y Nutrición
- Fennema. O, R. 1992, Química de los Alimentos, ed. Acribia Zaragoza, España pp129-135.
- Foro Nacional Bananero. 2003, Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología para la cadena agroalimentaria banano-plátano en México. Fundación Produce Tabasco A.C.-SAGARPA-COFUPRO-UACH, Villahermosa, Tabasco, México, 118 p.
- Forsthy, W.G.C. 1981, Banana and Subtropical Fruits (Ed. Nagy. S.) The AVI Publishing Con inc. Westport, Conn E.U.A. pp. 258-278
- Fox y Cameron. 1999. Ciencia de los alimentos Nutrientes y Salud Ed. Limusa Pp 122-128.
- Freitas, R. A. Paula, R. C., Feitosa J. P. A., Rocha S. and Sierakowski, M. R. 2004, Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of Yam, (*Discorea alata*) and Cassava (*Manihot utilissima*) starches. Carbohydrate Polymer,pp 55; 3-8.
- Ganga, Z.N., & Corke, H. 1999. Physical properties of starch of Asian-adapted potato varieties. Journal of Science and Food Agriculture,pp 79, 1642–1646.

- Garcia E. and M. F. Lajolo, 1988 Starch Transformation During Banana Ripening The Amylase and Glucosidase Behavior Journal of Food Science
- Gray J. 2003. Hidratos de Carbono: Aspectos Nutricionales y de salud. ILSI Europe.(En linea): [http:// Europe.ilsis.org/file/ILSIcarboSP.pdf](http://Europe.ilsis.org/file/ILSIcarboSP.pdf), Abril 2, 2008.
- Goñi Garcia-Diz L. Mañas E. and Saura-Calixto F. 1996 Analysis of resistant starch a method for food and food products. Food Chemistry pp 56: 445-449.
- Goñi I. Alonso-A and Saura-Calixto F. 1997 A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index, Nutrition Research pp 17: 427-437.
- Haralampu S. G. 2000. Resistant Starch- a review of the physical properties and biological impact of RS. Carbohydrate Polymers,pp 41: 285-292.
- Hernandez, M., Chavez, A., y Bourges, H. 1987. Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos. Tablas de uso practico. Publicaciones de la Division de Nutricion. 10ª Edicion. Instituto Nacional de Nutricion, Mexico, D.F. 34p.
- Hoover R. and Zhou Y 2003. in vitro and in vivo hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes- a review. Carbohydrate Polymers,pp 54: 401-417.
- INEGI (2005). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Jane J. L. Wong K. S. and McPherson A.E. 1997. Branch structure differences in starches of A and B types X-ray patterns revealed by their Naegeli dextrans. Carbohydrate Research,pp 300, 219-227.
- Jenkins D.J.A. Kendall C. W.C., Augustin L.S.A. Franceschi S., Hamidi M., Marchie A. Jenkins A.L. and Axelsen M. 2002. Glycemic index: overview of implications in health and disease. The American Journal of Clinical Nutrition pp 76: 266S-273S.
- Juarez-Garcia E. Agama-Acevedo E. Sayago-Ayerdi S. G. Rodriguez -Ambriz S.L. and Bellos-Perez L.A. 2006, Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. Plant Food for Human Nutrition p 61.

- Kayisu K. Hood L.F. and P. Vansoest 1981 Characterization of Starch and Fiber of Banana Fruit Journal of Food Science.
- Kokini J. L. and L.L. Chedid 1992 Effect of Starch Structure on Starch Rheological Properties Food Technology pp 3, 124-135.
- Lajolo F. M y Wenzel M. E. 2006. Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos. Editora da Universidade, Sao Paulo, Brasil.
- Lehmann, U., Jacobasch, G, and Schmiedl D 2002. Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, pp 50: 5236-5240.
- Lehmann U. and Robin F. 2007. Slowly digestible starch- its structure and health implications: a review. Trends in Food science and technology, pp 18, 346-355.
- Lii, CH-Y Chang SH-M and Young Y.L 1982 Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. Journal of Food Science pp 47:1493-1497.
- Moreno, C. E. 2003. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, pp 84:56-60
- Mota R.V. Lajolo F.M. Ciacco C. and Cordenunsi B.R. 2000 Composition and functional properties of banana flour from different varieties. Starch/ Starke, pp 52, 63-68.
- Murat, M. K. Gurbuz, H. K. And Celik 2001, Effects of utilization of modified starches on the cake quality. Starch/ Starke: pp 53; 162-169.
- Mustaffa, R., Osman, A., Yusof, S., & Mohamed, S. 1998. Physico-chemical changes in Cavendish Banana (*Musa cavendishii* L var Montel), at different positions within a bunch during development and maturation. Journal of the Science of Food and Agriculture, pp 78, 201–207.
- National Starch and chemical company, 1997, Tecnología de almidones Para alimentos Pp 1-13

- Navia, J.M, Lopez, H., Cimadevilla, M., Fernandez, E., Valiente, A. y Clement, I.D. 1955. Nutrient composition of Cuban foods. I. Foods of vegetable origin. Food Research.pp 20:97-113.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978 Determinación de Cenizas en Productos Alimenticios.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-068-S-1978 Determinación de Proteínas en Productos Alimenticios.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-428-1982 Determinación de Humedad en Productos Alimenticios.
- Norma Oficial Mexicana NMX-F-007-1982 Especificaciones para el empleo en la fabricación de pan, galletas y pastas con harina de trigo.
- Novak, F. J. 1992. *Musa (Bananas and plantain)* In: Biotechnology of Perennial Fruit Crops. Hammerschalag, F. A. and Litz, R.E.(Eds) C.A.B. International. Wallingford. Oxford, U. K. pp. 488-499.
- Oswaldo J.G.B. y Pacheco-Delahaye E, 2006, Propiedades físicas y reológicas de la harina verde (*Musa AAA*), en la elaboración de geles de piña (*Ananas Colossus L. Merr*) Facultad de Agronomía 32 (1); 32:27.
- Ott B. Dana, 1992, Manual de laboratorio de Ciencias de los Alimentos, Ed. Acriba S.A. pp. 58-61
- Orozco-Romero y Orozco-Santos. 2004. La sigatoka negra en bananos y plátanos; el caso de México. En: XVI Reunión internacional ACORBAT 2004, Oaxaca. México pp. 70-79.
- Ovando M. 2008. Pasta adicionada con harina de plátano: Digestibilidad y capacidad antioxidante. Tesis de maestría. Centro de desarrollo de productos bióticos. Yautepec Morelos del Instituto Politécnico Nacional

- Pacheco D.E. Seguera B. and Herrera I. 1998, Plant Starches and oils. Their influence on digestion in rats. Journal of the Science of Food and Agriculture. pp 77, 381
- Pacheco- Delahaya E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad *en vitro* del almidón. Acta Científica Venezuela: pp 52: 278-282.
- Pacheco – Delahaye E. Giusepina, T. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde, Interciencia. pp 30:300 – 304.
- Pacheco – Delahaye E. Maldonado, R; Pérez, E. P; Schoroeder M. 2008. Production and characterization of unripe platain (*Musa paradisiaca* L.) flours Interciencia. 33:290 – 296.
- Parades'- Lopez O. Bellos- Perez L. and M.G López 1994, Amylopectime structural Gelatization and retrogradación studies. Food Chemistry pp 50: 411-417.
- Pérez Lizaur, Palacios González y Castro Becerra. Cuad Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Editorial Ogali. 3 ed. pp. 29- 37.
- Ponce, A.E. 2004 Bacterias lácticas productoras de bacteriocinas y su aplicación en su conservación de alimentos. II simposio internacional de ciencia y tecnología de alimentos. P 84-86.
- Redondo, 2001 ML. 2001, La fibra terapéutica Blosa Ediciones. Barcelona España pp. 135-137.
- Robinson D. 1994 bioquímica y valor nutritivo de los alimentos, ed. Acriba pp. 57.63.
- Rodríguez- Ambriz S. L., Islas- Hernández J. J., Agama- Acevedo E., Tovar 2007.
- Rolle R.S. and Chism, G. W. 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. Journal of Food Quality. pp 10: 57-117

- Ronalds S. Kirk, Ronalds Sawyer y Harold Egan, 2005, Composición y análisis de alimentos de Persson, ed. Continental. Pp 81- 92
- Russell P. L. Berry C.S. and Greenwell P. 1998 Characterization of Resistant Starch from Wheat and Maize Journal of Cereal Science pp 9: 9-14.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural) 2009, Sistema de Información Agropecuaria 1997 – 2005 (SIACON) México.
- Sajilata M.G. Singhal R.S. and Kulkarmi P. R. 2006 Resistant Starch –A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.pp 1-17.
- Sandoval- Aldana A. Rodríguez- Sandoval E. Y Fernández Quintero A. 2005, Aplicación de Volumetría Diferencial de Barrido (DSC), para la caracterización de las modificaciones del almidón. Dyna. 146
- Schmidt Suzanne y Nielsen, 2003, Food Analysis Third Edition, Chapter 10, pp. 143-174.
- Shamai K., Bianco-Peled H. and Simon E. 2003. Polymorphism of resistant starch type III. Carbohydrate Polymers,pp 54, 363-369
- Slaughter L.S. Ellis R. P. and Butterwoth J.P., 2001 An investigation of the action of porcine pancreatic amylase on native and gelatinized starches. Biochemical et Biophysical. Pp 45-50
- Soto M.1991, Bananos cultivo y comercialización 3^o Edición ed. Liltibas, Costa Rica. Pp 142, 565-573.
- Soto Soraya Vania Azurduy, 2010 cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa Cavendish*), y banana verde (*Musa paradisiaca*). Revista boliviano de química, volumen 27, no.2.
- Stover R. H. and Simmonds, N. W.1987, Bananas 3 Edición ed. Longman Group UK Pp 391-398.
- Tester R.F. Karkallas J. and Qi X. 2004 Starch- Composition, fine structure and

- Tobin G y Muller H. G. 1998, *Nutrición y ciencia de los alimentos*, Primera edición Editorial Acriba, S. A.
- Topping D. L. and Clifton P. M. 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*, pp 81: 1031-1064.
- Thomas D. J. and Atwell, W. 1999, starch Modifications, In; *Starches*. Eag Press Handbook. USA; pp 31-48.
- Tovar J. y Melito C. 1996, Steam cooking and dry heating produce resistant starch in legumes *J. Agric. Food Chem* pp 44: 2642-2645.
- Vázquez, C. G., Márquez A. R y Márquez S. 2004. Evaluación física, química y tortillería del compuesto pepitilla de maíz. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 13(II):117-128.
- Voragen A. G. J. 1998; Technological aspects of functional food –related carbohydrates. *Trends in Food Science and Technology*, 9: 328-335.
- Zhang, P., Whistler, R.L., Be Miller, J.N., y Hamaker B.R. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Carbohydrate Polymers* 59; 443-458.
- Waliszewski K.N. Aparicio M.A: Bello L.A. and Monroy J.A. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers* 52: 237-242.