

300627



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

26

203

**EVALUACION DE LAS PROPIEDADES
FUNCIONALES DE LA HARINA DE
PLATANO TABASCO
(*Musa van sapientum*)
SECADO POR ASPERSION.**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el grado de Licenciatura en
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

presenta

HERIBERTO RICALDE ARELLANO

Director: Q.F.B. Felipe Rodríguez Palacios

México. D.F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E .

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVOS PARTICULARES	3
2.2. OBJETIVOS GENERALES	3
3. GENERALIDADES	5
3.1. EL PLATANO	5
3.1.1. Taxonomía	6
3.1.2. Descripción Botánica	6
3.1.3. Maduración	8
3.1.4. Cambios en el Plátano durante su Maduración	9
3.2. CONDICIONES DE CULTIVO Y VARIEDADES	15
3.2.1. Clima	15
3.2.2. Suelos	15
3.2.3. Variedades Cultivadas en México	17
3.3. COMPOSICION QUIMICA Y PROPIEDADES NUTRICIONALES .	20
3.4. PRODUCTOS PRINCIPALES Y ALTERNATIVAS DE USO INDUSTRIAL	23
3.5. EL ALMIDON: GENERALIDADES Y PROPIEDADES FUNCIONALES.	26
3.5.1. Características Microscópicas Generales de los Gránulos de Almidón	28

3.5.2. Comportamiento del Almidón Frente a la Acción de la Temperatura.	30
3.5.3. Propiedades Funcionales de los Almidones .	34
3.6. SECADO POR ASPERSION.	41
3.6.1. Proceso de Deshidratación por Aspersión .	42
3.6.2. Ventajas y Desventajas del Método de Secado por Aspersión	43
4. MATERIAL Y METODOS.	45
4.1. OBTENCION DE LA HARINA DE PLATANO	45
4.2. MORFOLOGIA MICROSCOPICA	46
4.3. ANALISIS BROMATOLOGICO	47
4.3.1. Humedad	47
4.3.2. Proteínas	47
4.3.3. Extracto Etéreo (Grasa)	48
4.3.4. Cenizas	48
4.3.5. Fibra Cruda	48
4.3.6. Carbohidratos	49
4.4. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS	49
4.4.1. Determinación del pH	49
4.4.2. Determinación de Azúcares Reductores Directos	49
4.4.3. Tamaño de Partícula	50
4.4.4. Color	50
4.4.5. Actividad de Agua	51
4.5. ANALISIS MICROBIOLOGICO	51
4.5.1. Cuenta Total de Mesofílicos Aerobios	51

4.5.2. Cuenta de Hongos y Levaduras	51
4.5.3. Cuenta de Coliformes	52
4.6. VISCOAMILOGRAMA	52
4.3.1. Viscosidad	52
4.7. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	53
4.8. ABSORCION DE AGUA Y ACEITE	53
5. RESULTADOS	55
5.1. OBTENCION DE LA HARINA DE PLATANO	55
5.2. MORFOLOGIA MICROSCOPICA	55
5.3. ANALISIS BROMATOLOGICO	55
5.4. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS	57
5.5. ANALISIS MICROBIOLOGICO	61
5.6. VISCOAMILOGRAMA	62
5.7. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	64
5.8. ABSORCION DE AGUA Y ACEITE	66
6. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS	69
6.1. ANTECEDENTES TEORICOS	69
6.1.1. Diseño Experimental	69
6.1.2. Análisis de Varianza	71
6.1.3. Pruebas para Diferencias Significativas Entre Parejas Individuales de Medias	73

6.2. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DEL EFECTO DEL pH Y DE LA TEMPERATURA SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	75
6.2.1. Diseño del Experimento	75
6.2.2. Análisis de Varianza (ANOVA) del Experimento	75
6.2.3. Prueba para Diferencias Significativas Entre Parejas Individuales de Medias	77
6.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE ABSORCION DE AGUA Y ACEITE DE LA HARINA DE PLATANO	81
6.3.1. Diseño del Experimento	81
6.3.2. Análisis de Varianza (ANOVA) del Experimento	82
6.3.3. Prueba para Diferencias Significativas Entre Parejas Individuales de Medias	84
7. DISCUSION	86
8. CONCLUSIONES	94
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96

I N D I C E D E T A B L A S

3.2.1. NUTRIENTES REQUERIDOS POR HECTAREA DURANTE UN CICLO DE PRODUCCION	16
3.2.2. PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES DE PLATANO	18
3.3.1. COMPOSICION PORCENTUAL DE DIVERSOS MICROELEMENTOS DEL PLATANO	20
3.3.2. VALOR NUTRITIVO DE DIVERSOS FRUTOS EN 100 g DE PESO NETO	21
3.3.3. COMPOSICION QUIMICA DEL PLATANO SIN CASCARA EN PORCENTAJE	22
3.5.1. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA DE ALGUNOS ALMIDONES DE USO COMUN EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	27
3.5.2. HIDROCOLOIDES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	36
3.5.3. PROPIEDADES FUNCIONALES QUE PROPORCIONAN LOS HIDROCOLOIDES Y ALGUNAS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS	37
5.1. ANALISIS BROMATOLOGICO DE LA HARINA DE PLATANO	57
5.2. AZUCARES REDUCTORES DIRECTOS DE LA HARINA DE PLATANO Y OTROS ALMIDONES DE USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	58
5.3. LECTURAS DIRECTAS PARA LA DETERMINACION DEL COLOR DE LA HARINA DE PLATANO	59

5.4.	CALCULOS PARA LA CUANTIFICACION DEL COLOR DE LA HARINA DE PLATANO CON RESPECTO A LA HARINA DE TRIGO	60
5.5.	AW DE LA HARINA DE PLATANO	61
5.6.	ANALISIS MICROBIOLOGICO DE LA HARINA DE PLATANO	62
5.7.	EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	64
5.8.	ABSORCION DE AGUA Y DE ACEITE DE LOS DISTINTOS ALMIDONES ANALIZADOS	67
6.1.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO PARA EL ANALISIS DEL EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	76
6.2.	TABLA DE ANOVA PARA EL EFFECTO DEL pH, DE LA TEMPERATURA Y EL EFFECTO DE AMBOS FACTORES COMBINADOS SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	77
6.3.	PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES DE DUNCAN PARA EL EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA SOLUBILIDAD	78
6.4.	PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES DE DUNCAN PARA EL EFFECTO DEL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD	78
6.5.	PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES DE DUNCAN PARA EL EFFECTO COMBINADO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD	79
6.6.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO PARA LA COMPARACION DE LA ABSORCION DE AGUA Y ACEITE DE DIVERSAS MUESTRAS	82
6.7.	TABLA DE ANOVA PARA LA COMPARACION DE LA ABSORCION DE AGUA DE DIVERSAS MUESTRAS	83

6.8.	TABLA DE ANOVA PARA LA COMPARACION DE LA ABSORCION DE ACEITE DE DIVERSAS MUESTRAS	83
6.9.	PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES DE DUNCAN SOBRE EL EFECTO DEL TIPO DE MUESTRA SOBRE LA ABSORCION DE AGUA	84
6.10.	PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES DE DUNCAN SOBRE EL EFECTO DEL TIPO DE MUESTRA SOBRE LA ABSORCION DE ACEITE	85

I N D I C E D E F I G U R A S .

3.1.1. AUMENTO DE AZUCARES REDUCTORES DURANTE LA MADURACION DEL PLATANO	10
3.2.1. PRODUCCION DE PLATANO TABASCO EN LA REPUBLICA MEXICANA	18
3.2.2. DISTRIBUCION DE LA PRODUCCION PLATANERA EN MEXICO ..	19
3.5.1. COMPORTAMIENTO DEL ALMIDON EN SOLUCION FRENTE A LA ACCION DE LA TEMPERATURA	33
5.1. FOTOGRAFIA DE LOS GRANULOS DE ALMIDON AL MICROSCOPIO CON UN AUMENTO DE 40X	56
5.2. IMAGEN COMPUTARIZADA DE LOS GRANULOS DE ALMIDON DE HARINA DE PLATANO CON UN AUMENTO DE 40X	56
5.3. VISCOAMILOGRAMA OBTENIDO DURANTE EL CALENTAMIENTO DE LA HARINA DE PLATANO	63
5.4. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO	65
5.5. ABSORCION DE AGUA DE DIVERSOS ALMIDONES	67
5.6. ABSORCION DE ACEITE DE DIVERSOS ALMIDONES	68

1 . I N T R O D U C C I O N .

El plátano tabasco (*Musa van sapientum*) es un producto tropical que en el país registra una creciente demanda y a la vez es un producto que se consume en los países de clima templado y frío.

Este fruto se consume ampliamente debido a su sabor y a sus propiedades nutritivas, pero un porcentaje muy elevado de la producción de plátano (15%) se rechaza debido a que no cumple con las especificaciones de calidad, como pueden ser: tamaño, forma, manchas en la cáscara y otros factores, además de la falta de equipos, sistemas de riego y abonos adecuados (Sánchez, 1979).

Una alternativa para el aprovechamiento de los excedentes de este fruto es su transformación en harina.

La transformación del fruto por medio de procesos industriales tales como deshidratación, elaboración de polvo y harina, elaboración de bebidas alcohólicas, permite dar aprovechamiento a la fruta de calidad inferior y a los excedentes de la oferta a través de la introducción de nuevas formas de consumo (Crowter, 1979).

Entre las diversas alternativas dentro de la industria alimentaria se emplea el plátano como materia prima para la elaboración de productos como cereal proteinado con manzana y plátano, jugo de naranja con manzana y plátano, pasta para la

elaboración de productos de confitería y repostería, etc. (Sánchez, 1979).

El plátano produce una harina especial de cualidades eminentemente nutritivas y tiene la característica de que sus cenizas son ricas en potasio, magnesio, sodio y fósforo. Para la obtención de la harina de plátano es necesario preparar una pasta que posteriormente pasa por el proceso de deshidratación, utilizando el método de secado por aspersion hasta alcanzar un rango de humedad residual de 1 a 5%. El componente mayoritario de la harina de plátano es el almidón, y éste le va a conferir propiedades específicas a la harina.

La determinación de las propiedades funcionales de los almidones es muy importante debido a que el uso de estos en la industria alimentaria es muy amplio; se pueden emplear como estabilizadores, agentes gelificantes, espesantes, emulsificantes, humectantes, etc., pero tienen la característica de que no siempre se pueden emplear en su forma natural, sino que en muchos casos es necesario realizar una modificación física o química y así poder obtener de ellos las propiedades funcionales deseadas.

En el presente proyecto se evaluaron las propiedades funcionales de la harina de plátano (*Musa van sapientum*) y en base a los resultados obtenidos, se proponen posibles aplicaciones para la Industria Alimenticia.

2 . O B J E T I V O S .

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Optimizar el proceso de secado por aspersión, evaluar las propiedades funcionales de la harina de plátano tabasco (*Musa van sapientum*) y en base a los resultados proponer aplicaciones para la Industria Alimenticia.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

- a) Obtener una harina a partir de pulpa de plátano verde.
- b) Realizar el análisis bromatológico de la harina de plátano.
- c) Determinar las características fisicoquímicas de la harina de plátano mediante la realización de pruebas como: evaluación del color, tamaño de partícula, Aw, pH y cuantificación de azúcares reductores directos.
- d) Evaluar la calidad microbiológica de la harina de plátano.
- e) Conocer el efecto de la temperatura sobre el almidón de la harina de plátano mediante la realización de un viscoamilograma.
- f) Determinar el efecto de la temperatura y el pH sobre la solubilidad de la harina de plátano.

g) Medir el porcentaje de absorción de agua y de aceite de la harina de plátano obtenida.

h) Proponer posibles aplicaciones de la harina de plátano en base a los resultados obtenidos.

3. GENERALIDADES .

3.1. EL PLATANO.

El plátano Tabasco (*Musa van sapientum*), se caracteriza por ser un producto tropical y en nuestro país registra una creciente demanda, además de ser un producto que se exporta a países cuyo clima es templado y frío, en donde el desarrollo de este fruto no es posible.

Se cree que este fruto tiene su origen en la región tropical del sur de Asia. El hombre en sus viajes probablemente lo llevó al oriente de la India, de ahí a la región del Mediterráneo y finalmente llegó a América (Loesecke, 1950).

Su introducción en América fué en el siglo XVI (1516) en las Islas de Santo Domingo y Cuba (Sánchez, 1979). A finales del siglo XIX las plantaciones comerciales se establecieron en Jamaica y en pocos años lograron extenderse hacia los países centroamericanos.

En la actualidad, una gran parte de la superficie cultivable de México está dedicada a la agricultura del plátano. (Sánchez, 1979). La mayor producción de plátano en el mundo se encuentra en América Latina, especialmente en Brasil, Ecuador, Venezuela, Honduras, Panamá y Costa Rica. En América Latina se cultiva al 62% de la producción mundial de plátano (Purse y col, 1972).

3.1.1. TAXONOMIA.

El plátano Tabasco pertenece al orden de las SCITAMINACEAS, familia de las MUSACEAS y del género MUSA.

Las especies que más frecuentemente son mencionadas son:

- Musa paradisiaca, van sapientum, (fruto comestible en estado natural).
- Musa paradisiaca, (plátanos machos).
- Musa acuminata, (bananos de las Malayas).
- Musa cavendishii, (enano de China y las Canarias).
- Musa corniculata, (de las Malayas).
- Musa fehé, (morado, de los Archipiélagos del Pacífico).
- Musa trogloditarum, (formas silvestres) (Sánchez, 1979).

3.1.2. DESCRIPCION BOTANICA.

El plátano es un vegetal herbáceo, de grandes dimensiones (2 a 9 metros de altura), presenta un tronco o tallo falso en forma cilíndrica, grueso y pesado; no es un verdadero tallo aéreo, sino un rizoma que forma ramas subterráneas horizontales a partir de los cuales pueden formarse hijuelos (Ochose y col, 1980); la multiplicación de esta planta se hace por renuevos o hijuelos que brotan alrededor del árbol madre, y por yemas que están próximas a la raíz, ya que no se producen semillas fértiles.

La forma de sus hojas es elíptica, de color verde claro, con el haz brillante y el envés blanquizco con un limbo de 1 a 3 m de largo por 40 a 60 cm de ancho (Ochose y col, 1980). La floración de esta planta se presenta en forma de espiga (inflorescencia) hasta de 1.5 m de largo.

Las flores se dividen en tres grupos:

- A) Femeninas.
- B) Masculinas.
- C) Hermafroditas.

Las flores femeninas, al desarrollarse, dan lugar al fruto, que es una baya carnosa, amarilla, blanca-amarillenta, roja o morada, con numerosas semillitas negruzcas, por lo común atrofiadas, incluidas a lo largo de la parte central. Cada mata produce un solo racimo que se compone de 5 a 20 "manos" y estas llevan de 10 a 20 plátanos.

El fruto se compone de dos partes: la cáscara y la pulpa. La cáscara se divide en tres estructuras principales:

- a) Epidermis: es la capa más externa y más delgada. Protege al fruto de daños mecánicos y de los insectos. Es impermeable al agua y semipermeable al intercambio gaseoso.
- b) Parénquima: es la capa más gruesa constituida por células delgadas que forman capas horizontales.
- c) Sistema fibrovascular: se encuentra en forma de paquetes dispersos en el parénquima. Le da fuerza y rigidez a los tejidos de la cáscara y ayudan al

transporte de agua.

Las células de la pulpa son alargadas; contienen numerosos gránulos de almidón junto con el citoplasma y el núcleo. En una fruta verde, los gránulos están unidos por pectina. En el plátano maduro, los gránulos de almidón disminuyen considerablemente y presentan una forma irregular (Purse, 1972).

Las distintas especies y variedades de plátano se distinguen unas de otras por el tamaño, la disposición y dimensiones de las hojas y principalmente por la conformación del racimo, así como la forma y tamaño de los frutos (Sánchez, 1979).

3.1.3. MADURACION.

La maduración de los frutos se puede definir como la secuencia de cambios de color, textura y sabor que los lleva a un estado en que la fruta es aceptable para ser ingerida.

Hay cambios que se observan mediante los sentidos, pero existen además una serie de modificaciones fundamentales en el metabolismo y en la composición de la fruta. El control de la velocidad de maduración es muy importante. Los factores a controlar en la maduración de los plátanos son: a) temperatura, b) humedad y c) ventilación.

a) Temperatura: Los plátanos durante su maduración desprenden pequeñas cantidades de etileno, ésteres volátiles y

bióxido de carbono. La cantidad de estos gases está en proporción directa con el grado de madurez a cierta temperatura. La temperatura más adecuada para una maduración está entre 62-68°F (17-21°C) (UFC, 1964; Nelson, 1982).

b) Humedad: Para plátanos en penca se recomienda que la humedad relativa del aire de la cámara se mantenga lo más elevada posible (humedad relativa aprox.: 95%). Para evitar pérdidas excesivas en el contenido de humedad se recomienda controlar la velocidad de las corrientes de aire. Cuando los plátanos maduran con una humedad relativa adecuada, adquieren un aspecto fresco, firme y con buen color. Los plátanos madurados en atmósferas secas, muestran manchas oscuras en la cáscara (UFC, 1964).

c) Ventilación: Es muy importante que los cuartos de maduración no estén contruidos herméticamente para que no se pierda la ventilación durante las primeras etapas de maduración. En general, la ventilación retarda el madurado, pero el bióxido de carbono produce una "sofocación" en la fruta que lo retarda aún mas (UFC, 1964).

3.1.4. CAMBIOS EN EL PLATANO DURANTE SU MADURACION.

Como se sabe, las frutas después de la cosecha siguen pasando por una serie de transformaciones químicas, entre otras, modificaciones en actividad respiratoria, contenido de agua, ácidos orgánicos, pH y carbohidratos. A continuación se mencionan algunas de ellas:

1.- CARBOHIDRATOS: El cambio más importante durante la maduración del plátano es la conversión de almidón a azúcar. Este cambio empieza en el centro de la pulpa en donde los tejidos se suavizan, cambia el color y adquieren un sabor dulce. El almidón junto con los taninos disminuyen progresiva y simultáneamente (Loesecke, 1950; Nelson, 1982). Los azúcares presentes en la fruta verde sólo corresponden al 1-2% de la pulpa, aumentando de 15-20% en la madurez. El almidón desaparece y su contenido baja de alrededor de un 20% en la fruta verde hasta un 1-2% en la fruta madura (Simmonds, 1973).

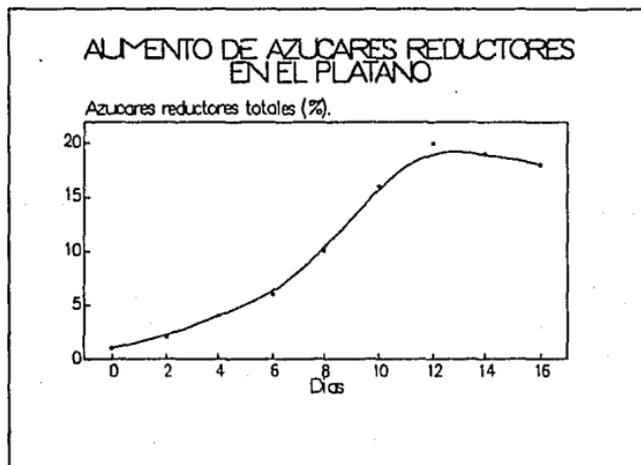


FIG. 3.1.1 Aumento de azúcares reductores durante la maduración del plátano (Mancera, 1951).

En la Figura 3.1.1 se puede comprender mejor el cambio que ocurre en el fruto, respecto a la concentración de

azúcares reductores durante la maduración.

Existe una pequeña disminución en el contenido total de carbohidratos en todas las variedades de plátano durante la maduración, debido a que parte de la glucosa se utiliza en la respiración (Loesecke, 1950). Las concentraciones de glucosa, fructuosa y sacarosa corresponden al 80% de los sólidos del plátano maduro (Loesecke, 1950; Purse, 1972).

2.- RELACION CASCARA/PULPA: Durante la maduración de la fruta, el peso de la pulpa aumenta por incremento del contenido de agua. Esta agua se obtiene de la cáscara, lo que ocasiona que esta pierda peso, mientras la pulpa aumenta en peso y diámetro (Loesecke, 1950).

3.- RESPIRACION: La fruta continúa respirando aún después de que ha sido cortada del árbol y sigue desarrollando CO_2 junto con etileno y pequeñas cantidades de ésteres volátiles. Cualquier fenómeno que cambie la actividad respiratoria y junto con ésta el metabolismo de la fruta, tiene efectos determinantes en su calidad. Hay un período en el que hay un rápido aumento en la producción de CO_2 que se conoce como Período Climatérico (Loesecke, 1950).

4.- CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD: El contenido de humedad de la fruta aumenta según va madurando. Hay cambios en la presión osmótica, como resultado de la transferencia de agua de la cáscara a la pulpa. La hidrólisis del almidón a azúcar durante la maduración también produce un aumento en la presión osmótica y este aumento está en proporción a la

concentración de azúcar formado.

5.- PECTINA Y PROTOPECTINA: Las sustancias pécticas se encuentran fundamentalmente asociadas con la hemicelulosa en las paredes celulares de todas las plantas (Baduí, 1984). En el plátano, la concentración de pectina aumenta y la de protopectina disminuye durante el madurado. Es de suponer que la protopectina se convierte en pectina y finalmente en ácido péctico (Loesecke, 1950).

6.- CELULOSA: Recientemente ha habido un gran interés sobre los posibles efectos de la fibra consumida en la dieta (Nagy, 1980). La fibra del plátano está compuesta por 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa. En la pulpa, estos porcentajes disminuyen durante la maduración. El contenido de hemicelulosa es importante porque afecta la textura de la pulpa (Loesecke, 1950).

7.- ACIDOS: Con el avance de la maduración se observa un incremento gradual de la acidez en la pulpa (Loesecke, 1950). La acidez titulable sube hasta un máximo en el Período Climatérico o poco después, registrándose un ligero descenso a medida que aumenta la maduración debido a la biosíntesis de ácido oxálico en el estado verde del fruto, y a la biosíntesis de ácido málico en etapas posteriores de madurez (Pantastico, 1984).

8.- TANINOS: Son un grupo de compuestos fenólicos que tienen la capacidad de precipitar proteínas y que además contribuyen a las reacciones de oscurecimiento no enzimático.

Los complejos que se forman entre proteínas y taninos no son metabolizados, lo que hace que el valor nutricional del alimento se reduzca. En el plátano inmaduro, el contenido de taninos es elevado y disminuye según va madurando la fruta. El sabor astringente de la fruta inmadura se debe a los taninos (Loesecke, 1950).

9.- PROTEINA: Unicamente cerca del 0.7% de proteína se encuentra en la pulpa del plátano. Esta proteína es rica en arginina, lisina y cisteína, pero pobre en metionina. Hay un aumento en la síntesis de proteína durante la maduración del plátano (Nagy, 1980)

10.- LIPIDOS: Los plátanos contienen muy poco material graso, cercano al 0.12% de la pulpa. Los ácidos insaturados, principalmente el linoléico y el palmítico disminuye, mientras que el ácido esteárico aumenta. El 45% de los ácidos grasos de la pulpa son insaturados (Nagy, 1980).

11.- MINERALES, PIGMENTOS Y VITAMINAS: Aparentemente no existe una diferencia en el contenido de minerales durante la maduración. Lo que sí se presenta es un cambio de color de verde a amarillo, el cual consiste en que la clorofila se destruye gradualmente por la acción enzimática, permitiendo que los carotenoides se hagan cada vez más evidentes mientras el proceso de maduración avanza. Por otro lado, los estudios sobre las vitaminas de los plátanos se han dirigido principalmente a determinar el contenido de ácido ascórbico, el cual aumenta durante la maduración. El contenido promedio

de ácido ascórbico en el plátano es de 10 mg/100 g de fruta (Loesecke, 1950).

12.- COMPUESTOS VOLATILES: Los plátanos maduros tienen un contenido relativamente elevado de compuestos volátiles, que son principalmente mezclas complejas de ésteres, aunque también se encuentran alcoholes, aldehídos, cetonas y compuestos aromáticos. Los compuestos volátiles se desprenden en cantidades apreciables sólo cuando empieza la maduración. Aunque el grado de madurez es el factor fisiológico principal que influye en la formación de compuestos volátiles, la composición del aroma también se ve afectada por las condiciones ambientales existentes durante la maduración (Nagy, 1980).

13.- ENZIMAS: Muchos de los efectos químicos y físicos que se observan durante la maduración de los frutos son atribuidos a las reacciones enzimáticas. Las enzimas tales como la catalasa, pectinesterasa, celulasa, poligalacturonasa y amilasa aumentan su actividad durante su almacenamiento. Las oxidasas en general, muestran una disminución en actividad, pero todo esto depende de la temperatura de almacenamiento (Pantastico, 1984).

3.2. CONDICIONES DE CULTIVO Y VARIEDADES.

3.2.1. CLIMA.

Para el cultivo del plátano (*Musa van sapientum*), la temperatura propicia debe ser mayor a los 18°C o 20°C, mientras que la óptima varía entre los 24°C y 28°C. En lo que respecta a la altitud, esta puede variar de los 20 a 400 m snm, aún cuando se encuentra en lugares de mayor altura como la región de Córdoba, Ver., la cual se localiza a 820 metros sobre el nivel del mar (Ochose, 1980).

Las regiones lluviosas más apropiadas para llevar a cabo el cultivo del plátano, son aquellas en donde la humedad relativa es superior al 70% (Sánchez, 1979). Durante la época de desarrollo del plátano se requiere un mínimo de 2400 mm³ de lluvia a la semana (Franklin, 1984).

3.2.2. SUELOS.

La planta del plátano exige suelos ricos en humus (materia orgánica compleja formada por restos vegetales, de insectos y excrementos de pequeños animales), profundos y bien drenados, de característica areno-arcillosa cuya composición aproximada es de:

ARENA	52%
ARCILLA	40%
HUMUS	5%
CAL	3%

La mejor región para el cultivo del plátano Tabasco, está situada al Sur de Chiapas, propiamente en la región del Soconusco y es la que más se acerca a las condiciones favorables para la producción del plátano, principalmente en cuanto a temperatura y a precipitación pluvial.

La región del Soconusco se caracteriza por ser una zona que cuenta con suelos profundos, bien drenados, ricos en nutrientes directamente asimilables tales como: nitrógeno, anhídrido fosfórico, óxido de potasio, magnesio, calcio y azufre, así como también de micro-elementos: cobre, boro y manganeso.

Esta región posee en promedio un pH mínimo de 6.2 y máximo de 8.3, mientras que las regiones plataneras del mundo tienen un pH mínimo de 5.3 y máximo de 8.0

El mejor desarrollo del plátano se lleva a cabo en suelos ricos en nutrientes, de fácil asimilación y libres de humedad de riego.

NUTRIENTE	Kg/Hectárea
Nitrógeno (N ₂)	50-75
Oxido Fosfórico (P ₂ O ₅)	15-20
Oxido de Potasio (K ₂ O)	175-225
Oxido de Calcio (CaO)	10-20
Oxido de Magnesio (MgO)	25-30

TABLA 3.2.1 Nutrientes requeridos por Hectárea durante un ciclo de producción (Sánchez, 1979).

En la Tabla 3.2.1 aparecen los nutrientes que son extraídos del suelo por las plantas del plátano que se encuentran localizadas en una hectárea, durante un ciclo de producción (Sánchez, 1979).

3.2.3. VARIEDADES CULTIVADAS EN MEXICO.

Actualmente son cultivadas en el país las 10 siguientes variedades de plátano:

- | | |
|----------------------|------------|
| 1) Tabasco o Roatán. | 6) Macho. |
| 2) Gromichel. | 7) Blanco. |
| 3) Valery. | 8) Morado. |
| 4) Manzano. | 9) Oaxaca. |
| 5) Dominicó. | 10) Rombo. |

De todas estas variedades solo la Roatán o Tabasco se dedica a satisfacer el mercado externo, mientras que las otras variedades se destinan a cubrir el consumo interno (Sánchez, 1979).

En la figura 3.2.1, se observa la importancia del plátano Tabasco en la economía del país en base a la producción de los últimos años. (SARH, 1991a; 1991b).

Dentro de los principales estados productores de plátano (de todas las variedades) los porcentajes aportados por cada uno aparecen en la Tabla 3.2.2.

En la figura 3.2.2 se puede analizar la distribución de la producción platanera en la República Mexicana (SARH. 1991).

Colima	19%
Chiapas	19%
Veracruz	14%
Tabasco	14%
Oaxaca	11%
Michoacán	8%
Nayarit	6%

Tabla 3.2.2. Principales estados productores de plátano.

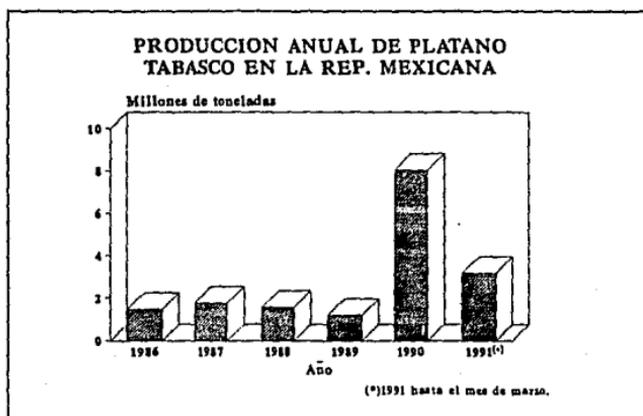


FIG. 3.2.1 Producción de plátano tabasco en la República Mexicana (SARH, 1991a; 1991b).

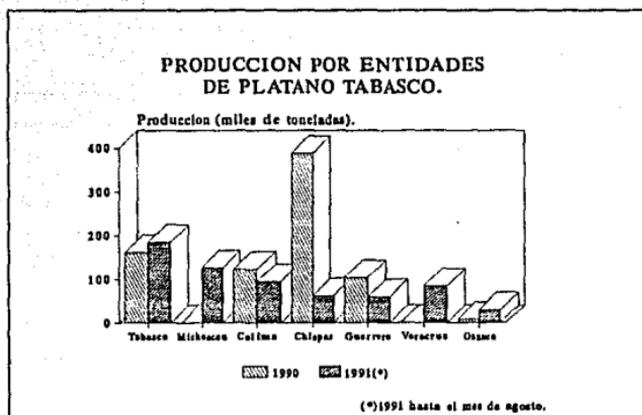


FIG. 3.2.2 Distribución de la producción platanera en México (SARH, 1991a; 1991b).

3.3. COMPOSICION QUIMICA Y PROPIEDADES NUTRICIONALES.

El plátano Tabasco (*Musa van sapientum*) desde el punto de vista dietético es un alimento bien balanceado; contiene menos agua que la manzana, la naranja y la papa, pero tiene mayor cantidad de grasa y carbohidratos que estas, excepto de la manzana. La cantidad de proteína y materias minerales también es mayor en el plátano que en la manzana y naranja, pero menor que en la papa (Winton, 1982). En términos generales, la fruta se compone principalmente de agua y carbohidratos y posee casi un insignificante contenido de proteínas y de grasas (Loesecke, 1950; UFC, 1964). La ceniza es relativamente rica en potasio, magnesio, sodio y fósforo (Tabla 3.3.1) (Simmonds, 1973).

COMPONENTE	%
SiO ₂	0.02
SO ₃	0.01
CaO	0.01
MgO	0.04
Fe ₂ O ₃	0.0001
Na ₂ O	0.07
P ₂ O ₅	0.08
K ₂ O	0.42

TABLA 3.3.1 Composicion porcentual de diversos microelementos del plátano. (Mancera, 1951).

El plátano Tabasco una vez maduro, tiene la característica de ser un alimento azucarado y de fácil

digestión. La pequeña cantidad de almidón que posee el fruto maduro se ha estimado en un 54-80% de digestibilidad; esto se ha determinado en base a pruebas de nutrición realizadas con animales.

El plátano en realidad, es una de las frutas que pueden asimilarse con mayor facilidad; en los últimos treinta años este fruto ha servido como elemento nutricional a personas afectadas por diversos trastornos intestinales (Simmonds, 1973).

El empleo de este fruto como alimento se justifica conociendo su análisis bromatológico; en la tabla 3.3.2 se observa el estudio realizado por el Instituto Nacional de Nutrición de los frutos antes mencionados (Hernández, 1987).

Frutos	Porción comestible	Energía (KCal)	Proteínas (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)
Plátano	0.68	86	1.4	0.3	22.0
Manzana	0.67	65	0.3	0.5	16.5
Naranja	0.63	40	1.0	0.1	10.0
Papa	0.82	76	1.6	0.1	17.5

TABLA 3.3.2 Valor nutritivo de diversos frutos en 100 g de peso neto (Hernández, 1987).

Con lo que respecta a la composición química del plátano, esta puede ser muy variable debido a que de un día para otro hay cambios considerables en la proporción en que se

encuentran sus componentes a medida que la madurez del fruto avanza; en la Tabla 3.3.3 se observa la composición del fruto tanto en estado verde como maduro (Mancera, 1951).

	VERDE	MADURO
Humedad	70.92	67.78
Almidón	10.06	Trazas
Azúcar invertido	0.88	20.47
Sacarosa	1.34	4.57
Grasa	1.21	0.58
Proteínas	3.04	4.72
Fibra cruda	0.36	0.17
Taninos	6.53	0.34
Cenizas	1.04	0.67
Cuerpos indeterminados (diferencia)	4.62	0.79

TABLA 3.3.3 Composición química del plátano sin cáscara en %. (Mancera, 1951).

3.4. PRODUCTOS PRINCIPALES Y ALTERNATIVAS DE USO INDUSTRIAL.

El plátano es una de las primeras producciones frutícolas mundiales; por el contrario, el mercado de productos transformados a base de plátano es mínimo. Sin embargo, la lista de posibles productos de plátano es larga.

Los productos fabricados y comercializados son los siguientes:

- Plátano pasa
- Harina
- Hojuelas
- Polvo
- Puré enlatado o congelado
- Fruta en almíbar
- Fruta cristalizada
- Néctar
- Jugo y alimento para ganado

Con la harina de plátano puede fabricarse almidón, azúcar y ciertas bebidas. Se han registrado en los mercados de consumo cantidades muy pequeñas de jaleas y algunas bebidas provenientes de la fermentación de la fruta (jugo de plátano y aguardiente).

Se ha determinado que de 60 plátanos pueden obtenerse dos litros de aguardiente y de 20 litros de mosto se obtienen tres litros de alcohol de 71.5° (Tamaro, 1968).

La transformación del plátano por medio de procesos industriales tales como la deshidratación, elaboración de

polvo y harina, elaboración de bebidas alcohólicas, etc., permite dar aprovechamiento a la fruta de calidad inferior y a los excedentes de la oferta a través de la introducción de nuevas formas de consumo (Sánchez, 1979).

El polvo y la harina de plátano tienen importancia en el ramo de la confitería y la dulcería. La diferencia entre el polvo y la harina radica en que la harina se obtiene secando fruta verde y el polvo proviene de plátano maduro, por lo tanto la harina es feculenta y el polvo es azucarado.

El polvo, por su alto contenido de azúcar y su contenido bajo de almidón, lo hace un componente útil para la alimentación infantil; por otra parte, se pretende el uso de la harina como diluyente de la harina de trigo y de la malta para la elaboración de la cerveza.

En el caso de la Industria Alimenticia, la elaboración de alimentos balanceados a base de plátano esta enfocada hacia el consumo infantil; por ejemplo, las empresas como NESTLE, GERBER, KELLOG'S Y MINSA, adquieren el plátano como materia prima para la elaboración y producción de los siguientes productos:

- Esencia de plátano.
- Plátano acitronado.
- Hojuelas de maíz y plátano.
- Puré de plátano.
- Hojuelas de plátano.
- Jugo de naranja con manzana y plátano.

- Cereal de avena con manzana y plátano
- Cereal de arroz con manzana y plátano.
- Pasta para la elaboración de productos de confitería y repostería.
- Cereal proteínado de manzana y plátano.

(Nestlé, S.A.; Gerber Products, S.A; Kellog de México, S.A.; Maíz Industrializado S.A.; Industrias Tabasqueñas, S.A.)

En el caso de la compañía NESTLE y GERBER, ambos producen alimentos para niños, constituidos principalmente por cereales y otros frutos; mientras que KELLOG'S y MINSA elaboran hojuelas, harina, maizena, y otros productos de consumo directo, así como materia prima para usarse en helados, purés, batidos, leches malteadas, confitería, pastelería y repostería (Sánchez, 1979).

3.5. EL ALMIDON, GENERALIDADES Y PROPIEDADES FUNCIONALES.

El almidón se encuentra extensamente distribuido en forma natural como carbohidrato de reserva en plantas; está formado por la polimerización de monosácaridos provenientes de la fotosíntesis, encontrándose generalmente en semillas o raíces. (Fawcett, 1985).

Como se sabe, la estructura del almidón en las plantas gramíneas es un polisacárido constituido por D-glucosa, la cual en su forma cíclica o lactónica forma el polímero que puede ser de dos formas: lineal y ramificada, denominadas amilosa y amilopectina.

La forma amilosa está constituida por cadenas lineales en las cuales las D-glucosas se unen por enlaces glucosídicos α (1-4). (De La Fuente, 1981).

La fracción de amilosa no es soluble en agua, pero sí llega a formar una estructura micelar hidratada cuando está en contacto con el solvente aunque no se forme un coloide verdadero.

Cuando la cadena de amilosa se encuentra en este medio (acuoso) se torna a una forma helicoidal, atrapando al agua en los huecos de la hélice pero sin solubilizarse (De La Fuente, 1981).

La fracción de amilopectina es altamente ramificada a diferencia de la fracción amilosa; esto se debe a que el promedio de glucosas que tiene por cada ramificación es entre

24 y 30 según la especie.

El tipo de uniones en la cadena es α (1-4), sin embargo en la unión de la ramificación con la cadena principal es α (1-6) (De La Fuente, 1981).

La relación que puede existir entre las fracciones tanto amilosa como amilopectina va a depender de la fuente de almidón que se tenga, presentándose un promedio de 30% para la amilosa y un 70% para la amilopectina (Smith, 1967).

En la Tabla 3.5.1 se observa el contenido de amilosa y amilopectina de algunos almidones utilizados comúnmente en la Industria Alimenticia (Badui, 1986).

TIPO	AMILOPECTINA (%)	AMILOSA (%)
Maíz	73	27
Maíz rico en amilosa	20 - 45	55 - 28
Papa	78	22
Arroz	83	17
Tapioca	82	18
Maíz Céreo	99 - 100	0 - 1
Sorgo Céreo	99 - 100	0 - 1
Trigo	76	24

Tabla 3.5.1 Contenido de amilosa y amilopectina de algunos almidones de uso común en la Industria Alimenticia (Badui, 1986).

3.5.1. CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS GENERALES DE LOS GRANULOS DE ALMIDON.

Los gránulos de almidón presentan diferentes características dependiendo de su origen, de su composición química y de la asociación del mismo, es decir están gobernados por genes nucleares por lo que el material amiláceo no se encuentra libre sino que está contenido dentro de pequeños corpúsculos o gránulos formando capas concéntricas (Wivinis, 1967).

Un estudio realizado con microfotografía de diversos gránulos de almidón presentó los siguientes resultados:

A) Almidón de maíz:

Los gránulos del almidón de maíz pueden presentar dos formas dependiendo si son derivados de la corona o de la región harinosa de granos de maíz ordinarios o bien, de la porción córnea del endospermo. Las especies del tipo harinoso contienen prácticamente todos los gránulos de forma redonda, a su vez las especies córneas contienen gránulos en forma poligonal. Cada tipo de muestra varía en tamaño, pero en promedio son ambas de 15 μ (Kerr, 1950).

B) Almidón de arroz:

Presenta los gránulos más pequeños de los almidones comerciales, el tamaño va de 3 a 8 μ , su forma es definitivamente poligonal y en ocasiones en forma de panal en racimos. Por el tamaño tan pequeño que presenta no se pueden

definir ciertas características tales como fisura, hilo y estriás (Kerr, 1950).

C) Almidón de tapioca:

Los gránulos de tapioca tienden a ser ovalados o redondos, tienen la característica de presentar una muesca en uno de los lados del gránulo. El hilo que presentan es centrado con algunas fisuras, no se llegan a ver estriás. El tamaño del gránulo varía entre 5 y 35 μ , con un promedio de 20 μ (Kerr, 1950).

D) Almidón de papa:

Los gránulos de almidón de papa presentan mucha variación en lo que respecta al tamaño, debido a que van de 15 a 100 μ . Los gránulos grandes presentan forma de huevo y estriás concéntricas pronunciadas cuya apariencia es similar a una concha de ostra. Por otra parte los gránulos pequeños representan etapas tempranas del desarrollo y tienen una forma redonda u ovalada con estriás e hilos débiles (Kerr, 1950).

E) Almidón de cebada:

Este tipo de almidón generalmente se presenta como una mezcla de gránulos los cuáles pueden ser grandes o muy pequeños; su forma es redonda o elíptica y llegan a medir entre 20 y 35 μ para los grandes y de 2 a 6 μ para los pequeños. Tanto el hilo, fisura y estriás son indistintivos (Kerr, 1950).

F) Almidón de trigo:

Los gránulos de este almidón pueden ser de 2 formas; largos o cortos, con pocos gránulos de tamaño intermedio. Los gránulos son delgados, de forma elíptica o redonda, pero su estría no es distinguible. Presenta un centro hilado débil que puede distinguirse en los gránulos largos cuyo tamaño va de 20 a 35 μ ; mientras que los gránulos cortos presentan un tamaño de 2 a 10 μ y no presentan hilo (Kerr, 1950).

G) Almidón de plátano:

Presenta gránulos irregulares, su forma es ovalada o en forma de pera; sus hilos son concéntricos y presenta estrias pronunciadas.

De esta forma, para cualquier estudio que se realice con almidón, es conveniente observarlo de manera preliminar bajo el microscopio, de manera que se puedan relacionar las características de tamaño, forma y distribución del gránulo con el comportamiento del mismo ante factores externos como es la temperatura.

3.5.2. COMPORTAMIENTO DEL ALMIDON FRENTE A LA ACCION DE LA TEMPERATURA.

Una de las características principales que presentan los gránulos de almidón son:

- A) Facilidad de hidratación.
- B) Hinchamiento.
- C) Gelatinización.

Estas tres fases se presentan al poner en contacto el almidón con el agua, además de que cada tipo de almidón va a presentar valores distintos de cada una de las propiedades anteriores.

El gránulo físicamente consiste en capas concéntricas, las cuales conforme van adsorbiendo agua (fenómeno de hidratación) se van hinchando; esto se debe principalmente a la composición química y a la asociación molecular del gránulo.

El poder elevado de hidratación que como consecuencia produce el hinchamiento de los almidones, se debe a la fracción soluble que estos poseen (Leach, 1967)

Los gránulos de almidón, van a presentar una estructura micelar que posee cierto punto de elasticidad, pero a su vez tienen un límite para adsorber agua fría e hincharse reversiblemente, lo cual indica que la malla micelar puede volver a su forma original y eliminar agua. A este punto se le denomina hinchazón reversible.

Cuando se presenta una elevación de la temperatura (40-70°C) en la suspensión acuosa de almidón o se presenta una interacción con otras sustancias químicas (principalmente sales), la malla micelar se debilita por lo que se produce una ruptura en las uniones de hidrógeno. Existen grupos OH^- libres que se unen con las moléculas de H_2O de manera que los gránulos continúan hinchándose.

A mayor temperatura se observa más hidratación e hinchazón del gránulo, pero ahora sí, de forma irreversible; y como un resultado directo del hinchamiento hay un incremento en la solubilidad del almidón, claridad de la pasta y viscosidad. A este rango se le denomina Gelatinización (Leach, 1967).

En la temperatura de gelatinización hay pérdida de la birrefringencia debido a la ruptura en el arreglo radial de los polímeros; además existe un alto grado de absorción de H_2O que hace que las dispersiones de estos polímeros alcancen grandes viscosidades.

La temperatura de gelatinización se va a expresar como un intervalo, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo ni a la misma temperatura debido a que algunos son más resistentes y pueden llegar a requerir hasta $10^{\circ}C$ más que otros (Badui, 1986).

Para medir la gelatinización se requiere observar un aumento en la viscosidad de la solución. El comportamiento de un almidón en solución frente a la acción de la temperatura se puede resumir en la figura 3.5.1 (De la Fuente, 1981).

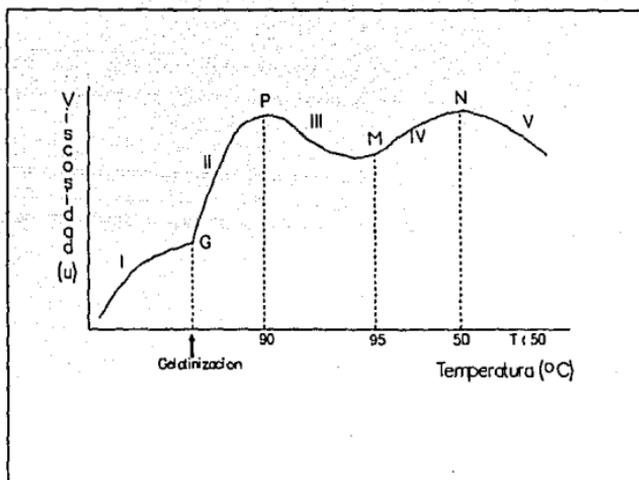


FIG. 3.5.1 Comportamiento del almidón en solución frente a la acción de la temperatura.

A) Región I: Existen gránulos libres por lo que la viscosidad es baja (sólo hay un ligero hinchamiento de los gránulos por adsorción de agua reversible); se consideran gránulos en solución.

B) Punto G: Es el punto de gelatinización y marca la división entre el hinchamiento reversible e irreversible; es un punto muy sutil y sólo se detecta por un cambio en el índice de refracción.

C) Región II: La temperatura se aumenta y el hinchamiento irreversible continúa, pero los gránulos permanecen intactos.

D) Punto P: Es el punto de pastificación, hay ruptura de

gránulos debido a que el almidón se hace muy grueso, por lo tanto hay liberación de amilosa y amilopectina; las interacciones entre las partículas es muy grande por lo que hay un ligero abatimiento de la viscosidad en la zona III.

E) Región III: Se continua el calentamiento (90-95°C), sigue la liberación de material amiláceo, hay disminución de la viscosidad debido a que la interacción entre los gránulos disminuye.

F) Punto M: Es el punto de mínima viscosidad por acción de la temperatura y rompimiento de los gránulos.

G) Región IV: Comienza la gelificación debido a que la temperatura baja de 95 a 50°C.

H) Punto N: En este punto la viscosidad es máxima debido a que la retrogradación del gel es mínima comparada con la disminución de la temperatura.

I) Región V: Hay disminución de la viscosidad por la retrogradación del almidón (insolubilización y precipitación de la amilosa) (Torral, 1973).

3.5.3. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS ALMIDONES.

El uso del almidón en la Industria Alimenticia es muy amplio ya que se comporta como un hidrocoloide. Los hidrocóloides son polímeros hidrofílicos que, en el solvente adecuado pueden producir geles o suspensiones de elevada viscosidad (Rodríguez, 1989).

Dentro de la Industria Alimenticia la variedad de hidrocoloides empleados es enorme como puede apreciarse en la Tabla 3.5.2.

El consumo de estos aditivos se ha incrementado debido a sus propiedades multifuncionales y por lo tanto es uno de los grupos de aditivos mas versátiles que existen.

Algunas de las propiedades funcionales que porporcionan los hidrocoloides, así como algunas de sus aplicaciones en la Industria de Alimentos se muestran en la Tabla 3.5.3.

Exudados	Goma arábica, goma Ghatti goma Kraya, goma de Tragacanto	
Extractos	Algas marinas	Agar-agar, Alginatos, Carragenina, Furcella- rano, Laminarano.
	Vegetales	Pectina, arabino- galactano, okra
	Animales	Gelatina, quitina
	Cereales	Cascarilla de maíz, avena
	Semillas	Goma de algarrobo, guar y de tamarindo
Harinas	Almidones y Cereales	Maíz, trigo, centeno, maíz ceroso
	Tubérculos	Almidón de papa, Konjac, mannan
	Raíces	Tapioca
Biosintéticas	Goma dextrana, xantana pullulana, gelana curdlana	
Semisintéticas	Derivados de celulosa	Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, hidroxietilcelulosa,
	Derivados de almidón	Almidones hidroxipropi- lados, almidones fosfa- tados y metilados
	Derivados de otros hidrocoloides	Alginato propilado, pec- tina de bajo metoxilo, goma guar hidroxipropi- lada.
Sintéticas	Polivinilpirrolidona, óxido de polietileno, polímeros de polietilenglicol, alcohol polivinílico (PVA)	

TABLA 3.5.2 Hidrocoloides empleados en la Industria Alimenticia (Rodríguez, 1989).

PROPIEDAD FUNCIONAL	GOMA	APLICACION
Adhesivas	Karaya	Panadería
Agente ligante	Carragenina	Embutidos
Agente acarreador	Arábiga	Aditivos dietéticos, sabores
Agente inhibidor de la cristalización	Xantana	Helados, jarabes
Agente clarificante	Alginatos	Cerveza, vinos
Agente enturbiantes	Arábiga	Bebidas en polvo
Agente encapsulante	Grenetina/goma arábiga	Sabores en polvo
Agente emulsificante	Xántica, gelana	Mayonesas y aderezos
Agente precipitante encapsulados	Alginatos	Sabores
Agente estabilizante	Xántica, guar	Toppings, cerveza
Agente gelificante	Agar-agar, grenetina	Flanes, gelatinas
Agente de textura	Pectinas	Confitería
Agente coloidal protector	Arábiga	Bebidas carbonatadas
Agente de suspensión	Xántica	Productos lácteos
Agente de hinchamiento	Carrageninas	Embutidos
Agente inhibidor de sinéresis	Algarrobo	Flanes, pudines
Agente espesante	Guar	Rellenos para pastel
Agente espumante	Carrageninas	Crema batidas

TABLA 3.5.3 Propiedades funcionales que proporcionan los hidrocoloides y algunas aplicaciones en la Industria de Alimentos (Rodríguez, 1989).

Algunas de las propiedades funcionales que pueden proporcionar los almidones y sus derivados cuando se utilizan como aditivos son:

a) Gelificantes: Este efecto se debe a la formación de redes complejas por hidratación del almidón ocasionando a su vez modificaciones en su estructura y atrapando moléculas de agua en dichas redes. Esto transforma la textura del alimento. Esta propiedad se aprovecha en la elaboración de flanes y gelatinas.

b) Espesantes: El efecto es similar, ya que se absorbe agua del medio, incrementando la viscosidad y modificando las características reológicas del alimento, por ejemplo en rellenos para pastel.

c) Emulsificantes y estabilizadores: el almidón incrementa la viscosidad del alimento y esto provoca una reducción del movimiento de las gotas de grasa en una emulsión reduciendo su tendencia a agruparse. Un efecto adicional es la reducción de la tensión interfacial debido a que la molécula de almidón cubre la superficie de la gota de grasa. Esta propiedad se aplica principalmente en la elaboración de mayonesas y aderezos.

d) Agentes de hinchamiento: por absorción de agua, el almidón modificado aumenta de volumen, lo cual resulta muy útil en algunos alimentos, como embutidos (paté, salchichas).

e) Enturbiantes: algunos almidones modificados a cierta concentración y al producirse un hinchamiento por absorción de

agua pueden impartir turbidez a la solución en la que se encuentran, por ejemplo en bebidas en polvo.

f) Agentes inhibidores de sinéresis: al absorber agua, los almidones modificados impiden que ocurra el fenómeno de sinéresis en productos como flanes, gelatinas y pudines que cuajan sin refrigerar (Rodríguez, 1989).

En el manejo de los almidones como aditivos, es importante considerar dos puntos: la dispersión adecuada en el medio y un medio adecuado desde el punto de vista físico y químico (pH, fuerza iónica, temperatura).

Es importante evitar la formación de glóbulos asegurando que cada partícula de almidón entre en contacto con la matriz líquida. Esto se puede lograr mediante:

- Dispersión en un líquido no solvente (aceite vegetal, etanol),
- Premezclar el almidón con un polvo inerte (por ejemplo azúcar) que actúa como dispersante.
- Adicionar lentamente el almidón agitando constantemente

(Rodríguez, 1989).

La desventaja de los almidones es que no siempre se pueden emplear en su forma natural, sino que en muchos casos es necesario realizar una modificación física o química y así poder obtener de ellos las propiedades funcionales deseadas.

En el caso de almidones no modificados se requiere de un tratamiento térmico para la solubilización. La temperatura requerida dependerá de la fuente del almidón.

Entre los diferentes tipos de almidones modificados tenemos: a) los hidrolizados los cuáles se pueden obtener a través de la acción de ácidos diluïdos y de enzimas amilolíticas, ya sea en forma individual o conjuntamente y b) los almidones pregelatinizados, que son obtenidos por medio de un cocimiento seguido de un secado por tambor rotatorio y estos almidones tienen la característica principal de poderse disolver en agua fría (Baduí, 1986).

La obtención de almidones oxidados es considerado como un proceso al azar, debido a que los hidroxilos de las unidades de D-glucosa son transformados en grupos aldehídos, cetonas y carboxilos. Los grupos carboxilo inhiben por impedimento estérico la unión entre las cadenas lineales de almidón debido a su voluminosidad, además de que existe una reducción considerable del número de hidroxilos libres capaces de interaccionar (Baduí, 1986).

Otro tipo de almidón modificado es el acetilado en donde se obtiene un efecto muy similar a la oxidación al tratar el almidón con ácido acético. Por otra parte, los almidones entrecruzados pueden formar dispersiones muy viscosas cuando se sujetan a un proceso de entrecruzamiento con agentes tales como el trimetafosfato de sodio, anhídrido succínico y oxiclóruo de fósforo, debido a que estos agentes tienen la capacidad de formar enlaces entre cadenas adyacentes de almidón, incrementando así el tamaño de las moléculas de los polímeros (Baduí, 1986).

3.6. SECADO POR ASPERSION.

La deshidratación es la operación a la cual se someten productos en los que se desea eliminar casi por completo el agua hasta alcanzar un rango de humedad residual de 1 a 5%.

En esta operación se emplean equipos mecánicos y métodos de calentamiento artificial, bajo condiciones de humedad, temperatura y flujo de aire muy controlados, los cuales favorecen la pérdida de humedad del producto (Woodroff, 1975).

El fin primordial de la deshidratación es la preservación de los alimentos, de tal forma que se logra un almacenamiento estable por periodos de tiempo prolongados y a la vez no proporcionan cambios en la calidad nutritiva e higiénica en el producto.

La calidad higiénica esta determinada por los niveles de humedad los cuales a su vez se rigen por el coeficiente de actividad acuosa (A_w); con este coeficiente se puede determinar el posible crecimiento de microorganismos, ya que las levaduras y hongos se inhiben generalmente por debajo de un A_w de 0.7 y las bacterias en su mayoría con un coeficiente menor de 0.9 (Woodroff, 1975).

3.6.1. PROCESO DE DESHIDRATACION POR ASPERSION.

En el secado por aspersión una suspensión o una disolución líquida se dispersa dentro de una corriente de gas caliente, en forma de una niebla de gotitas finas. La humedad que contienen estas gotitas se evapora rápidamente, dejando partículas residuales de sólido seco las cuales se separan de la corriente gaseosa. El flujo del líquido y el gas puede ser en corrientes paralelas, en contracorriente o una combinación de los dos en el mismo aparato (Mc. Cabe, 1981).

Las gotitas se forman dentro de una cámara de secado cilíndrica, por medio de boquillas o discos de pulverización de alta velocidad. En ambos casos es necesario impedir que las gotitas o partículas de sólido-húmedo golpeen las superficies sólidas antes que haya tenido lugar el secado, de tal forma que las cámaras son necesariamente grandes. Los diámetros alcanzan frecuentemente de 3 a 10 m (Mc. Cabe, 1981).

En el secado por aspersión la cámara es un cilindro cuyo fondo termina en un cono corto. La alimentación líquida se bombea a un atomizador de disco, el cual va a estar situado en la parte superior de la cámara. Este disco tiene un diámetro de 30 cm aproximadamente y gira a unas 5.000 - 10.000 rpm. Va atomizar el líquido produciendo gotas pequeñísimas que son lanzadas radialmente dentro de una corriente de gas caliente que entra cerca de la parte superior de la cámara (Mc. Cabe, 1981).

El gas frío se va a extraer, por medio de un ventilador,

a través de una conducción de descarga situada lateralmente en el fondo de la sección cilíndrica de la cámara. El gas va a pasar por medio de un separador de ciclón, donde se separan algunas partículas de sólido que pudieron haber sido arrastradas. La mayor parte del sólido seco sedimenta en el seno del gas hacia el fondo de la cámara de secado, y de allí se retira por medio de una válvula rotatoria y un transportador de tornillo sin fin y se une con el sólido recogido en el ciclón (Mc. Cabe, 1981).

3.6.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO DE SECADO POR ASPERSION:

Los beneficios que trae consigo la deshidratación de los alimentos por medio del secado por aspersión son:

A) Es un método muy eficaz debido a que prolonga notablemente la vida de anaquel.

B) Se obtiene un producto con una calidad nutritiva e higiénica la cual se logra mantener constante, de tal manera, que el consumidor adquiere un producto con características uniformes.

C) Un producto deshidratado siempre permite una mayor facilidad de manejo, almacenaje y transporte, ya que el peso del mismo se reduce considerablemente al sufrir un procesamiento en el que se elimina la mayor cantidad de agua, lo que trae como consecuencia que los costos de estas operaciones se abatan significativamente.

D) El aprovechamiento de productos naturales se incrementa y por consiguiente se dispone de ellos en cualquier época del año (en el caso de legumbres y frutas se elimina el hecho de depender de las épocas de producción, es decir, de un calendario agrícola) (De la Fuente, 1981).

Los inconvenientes que se presentan con este método de deshidratación son:

A) Los alimentos con naturaleza higroscópica presentan problemas en el secado, ya que estos productos se adhieren en el interior del equipo de secado, lo que ocasiona incrustaciones considerables, que traen consigo alteraciones en el producto terminado.

B) Descomposición de compuestos que bajo la acción del calor sufren alteraciones importantes como es el caso de algunas vitaminas.

C) En algunos productos se puede producir un oscurecimiento durante la operación.

D) La desecación puede producir un sabor diferente si no se controla la temperatura y humedad del producto.

E) Pérdida de componentes aromáticos naturales al someterse el producto a temperaturas elevadas.

F) Disminución del sabor natural.

G) Desarrollo de otros sabores durante el almacenamiento si no se cuenta con el empaque adecuado (De la Fuente, 1981).

4. MATERIALES Y METODOS :

Para iniciar la investigación propuesta se realizó inicialmente la obtención de la harina de plátano tabasco que se utilizó durante la fase experimental. El plátano utilizado fué adquirido en el mercado de la merced del D.F. proveniente del estado de Tabasco. La obtención de la harina se realizó por el método de secado por aspersion.

4.1. OBTENCION DE LA HARINA DE PLATANO:

Para la obtención de la harina de plátano se requiere de una calidad uniforme de la materia prima, para lo cual se clasificó y seleccionó la fruta con las características requeridas:

color verde.

fruto integro, libre de manchas oscuras
y sin golpes.

Se eliminaron también los frutos que se encontraron dañados por acción de hongos que pudieran ocasionar cambios en el sabor, aroma y color de la harina.

Posteriormente se realizó la etapa de mondado, que se efectuó en forma manual y unitaria para después pasar el fruto por la máquina cortadora (Bertuzzi Brugherio) para la

obtención de rodajas. Estas rodajas se sometieron a un tratamiento con una solución de metabisulfito de sodio (0.3%) y ácido cítrico (0.5%) para evitar el oscurecimiento enzimático. Este tratamiento se realizó en tinas durante 25 minutos, después de los cuales se drenó la solución de antioxidante y se procedió a realizar un lavado con agua para eliminar el resto de antioxidante.

Las rodajas de plátano así tratadas se pasaron por un molino helicoidal para obtener una pasta fluida uniforme que se introdujo directamente al secador (Nyro atomizer). Se manejó una temperatura de aire caliente al ciclón del secador de 130-140°C y una temperatura de salida de 80-90°C, con lo que se obtuvo una harina blanca y uniforme.

A esta harina se le hicieron las siguientes determinaciones para su control:

4.2. MORFOLOGIA MICROSCOPICA:

Se colocó en un portaobjetos una pequeña cantidad de la harina de plátano, se le adicionó una gota de alcohol etílico y después una gota de una solución (50:50) de glicerol y agua. Se colocó el cubreobjetos y se eliminó el exceso de líquido con papel filtro. Para tener la certeza de que los gránulos observados son almidón, se colocó en el borde del cubreobjetos una solución muy diluida de yodo (Egan, 1987).

4.3. ANALISIS BROMATOLOGICO:

4.3.1. HUMEDAD.

La determinación de humedad se realizó por medio de titulaciones amperométricas con el método de Karl-Fisher (AOAC, 1990) en un TITRINO KF 101. Para ello se pesaron 0.15 g. de harina y se colocaron directamente en el aparato previamente estandarizado con tartrato de sodio dihidratado. El valor de humedad se leyó directamente en el TITRINO KF 101.

4.3.2. PROTEINAS.

Para la cuantificación de proteínas se utilizó el método de MicroKjeldahl, llevando a cabo una digestión de la muestra (100 mg) con H_2SO_4 (compuesto fuertemente oxidante) y catalizadores, de manera que las proteínas presentes se fraccionan hasta NH_3 , el cual queda atrapado en solución en forma de $(NH_4)_2SO_4$. Este compuesto se hizo reaccionar con una base fuerte (NaOH concentrado), de manera que se transformó en NH_4OH (gaseoso). El NH_4OH se recibió en un volumen conocido de HCl valorado formando $NH_4^+-Cl^-$.

La cuantificación se realizó por volumetría titulando con NaOH 0.1 N el HCl no neutralizado. El porcentaje de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25 nos da el % de proteínas (AOAC, 1990).

4.3.3. *EXTRACTO ETereo (GRASA).*

La determinación del Extracto Etéreo se realizó mediante el método de Soxhlet, el cual se basa en la extracción de las grasas de la muestra mediante un solvente orgánico (éter etílico). Posteriormente se evaporó el solvente en estufa a 100°C durante 30 min y se pesó la cantidad de grasa extraída. Se utilizaron 2 g de muestra y 300 ml de éter etílico para la extracción, la cual se mantuvo durante 2.5 hrs (AOAC, 1990).

4.3.4. *CENIZAS.*

El contenido mineral se cuantificó mediante la calcinación de la muestra (5 g) a 550°C durante 3 hrs, de manera que se eliminó toda la materia orgánica presente en la muestra. Se enfrió y se pesó la muestra calcinada para determinar el % de cenizas (AOAC, 1990).

4.3.5. *FIBRA CRUDA.*

Esta determinación se utilizó para la cuantificación de celulosas, hemicelulosas, pectina y pentosanos. Se partió de 2 g de la muestra desengrasada y se realizó una hidrólisis ácida con H_2SO_4 0.225 N hirviendo (reflujo) durante 30 min., se lavó y se realizó una segunda hidrólisis alcalina con NaOH 0.313 N hirviendo (reflujo) durante 30 min. El residuo se lavó, se secó y se pesó (AOAC, 1990).

4.3.5. CARBOHIDRATOS.

Estos se obtuvieron por diferencia tomando en cuenta a todos los componentes anteriores. Es importante mencionar que la diferencia no corresponde únicamente a carbohidratos, ya que en esta cuantificación se suman los errores de las determinaciones anteriores.

4.4 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS:

4.4.1. DETERMINACION DEL pH.

A 1 g. de la muestra se le agregaron 10ml de agua destilada, se agitó durante 10 minutos y se midió el pH introduciendo el electrodo del potenciómetro directamente sobre esta mezcla. El potenciómetro se calibró previamente con solución buffer pH=4 (AOAC, 1990).

4.4.2. DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES DIRECTOS.

Esta determinación se realizó mediante el método del Acido Dinitro-salicílico (DNS) (Miller, 1959), el cual se basa en la oxidación del grupo reductor del azúcar y en la reducción del DNS para la obtención de un producto colorido característico que se cuantifica por espectrofotometría a 575 nm de absorbancia. La solución patrón fué de glucosa y se realizaron las diluciones requeridas para que la concentración de la muestra pueda ser cuantificada con la curva patrón.

4.4.3. TAMAÑO DE PARTICULA.

El tamaño de partícula de la harina de plátano obtenida se determinó mediante el uso de dos tamices: # 80 y # 100 que corresponden a una abertura de malla de 0.190 mm y 0.149 mm respectivamente. Se realizó el tamizado y se pesó la cantidad de harina retenida en cada una de las mallas.

4.4.4. COLOR.

Esta determinación se realizó mediante el uso de un colorímetro automático HUNTER LAB COLORIMETER 45% D25-PC2. Se introdujo la muestra y el blanco en el HUNTER en los recipientes apropiados cuidando que la muestra se mantuviera al ras del recipiente. En este caso se utilizó harina de trigo como referencia. El HUNTER proporciona los valores de L, a y b, tanto de la muestra como de la referencia. El valor de color es en realidad una diferencia de color con respecto a la referencia y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$DTC = [(L_m - L_s)^2 + (a_m - a_s)^2 + (b_m - b_s)^2]^{1/2}$$

Donde DTC: Diferencia Total de Color.

L_m: L de la muestra. a_m: a de la muestra.

L_s: L del estándar. b_m: b de la muestra.

a_s: a del estándar. b_s: b del estándar.

4.4.5. ACTIVIDAD DE AGUA.

Para esta determinación se utilizó un TERMOCONSTANTER. Se utilizó pesando 1 g de la muestra, se calibró el TERMOCONSTANTER a 20.5°C y se colocó en el sistema, el cual proporcionó automáticamente el valor de A_w .

4.5 ANALISIS MICROBIOLOGICO:

4.5.1. CUENTA TOTAL DE MESOFILICOS AEROBIOS.

Se utilizó agar para métodos estándar y placas de 90 mm. de diámetro. Se colocó 1 ml de una dilución adecuada de la muestra y se adicionaron 20 ml de medio a una temperatura de 40°C. Se dejaron solidificar y se incubaron a 37°C durante 48 hrs, al cabo de las cuales se realizó la cuenta (BIOXON, 1989).

4.5.2. CUENTA DE HONGOS Y LEVADURAS.

Para esta determinación se utilizaron placas de 90 mm. de diámetro inoculando con 1 ml de una dilución adecuada de la muestra. Se añadieron 20ml de PDA (agar papa dextrosa), se dejaron solidificar y se incubaron a 25°C durante 5 días, al cabo de los cuales se realizó la cuenta. Para hacer la diferenciación entre hongos y levaduras se observó la morfología colonial y se identificó el olor del cultivo. Si se

presentaba un olor a fermento se trataba de levaduras (BIOXON,1989).

4.5.3. CUENTA DE COLIFORMES.

Para esta determinación se prepararon placas de 90 mm de diámetro. Se inocularon con 1 ml de una dilución adecuada de la muestra. Se añadieron aproximadamente 20 ml de medio RBVA (agar de rojo, violeta y bilis). Una vez solidificados los medios se incubaron a 37°C durante 24 hrs (BIOXON,1989).

4.6 VISCOAMILOGRAMA:

4.3.1. VISCOSIDAD.

La estimación de la Viscosidad se determinó por medio del viscoamiloógrafo Brabender obteniéndose el viscoamilograma. En base al análisis del viscoamilograma se determinó la temperatura de gelatinización, la viscosidad máxima de la pasta a 95°C, la viscosidad final después del primer período de calentamiento (llevado a cabo durante 1 hr a 95°C), la viscosidad de la pasta cocinada después del enfriamiento a 50°C y viscosidad final de la pasta después del segundo período de calentamiento (llevado a cabo durante 1 hr a 50°C).

4.7. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO:

Se evaluó el efecto de valores distintos de temperatura combinados con distintos valores de pH:

Temperatura: 24, 35, 45, 55, 65, 75, 85 y 92°C

pH: 4.0, 5.0, 6.0 y 7.0

Se combinaron todas las temperaturas evaluadas con todos los valores de pH para obtener un diseño experimental completo.

Se pesaron 0.1 g de la harina de plátano (para cada una de las condiciones de pH y temperatura) y se agregaron 10 ml de buffer del pH correspondiente a la temperatura establecida. Se mantuvo en esa temperatura con ayuda de un baño de agua a temperatura controlada. Se agitó la muestra durante 5 min. y se filtra en papel Watmann # 41. Se secó en la estufa a 80°C durante 12 hrs, se pesó y se determina el porcentaje de retención y el porcentaje de solubilidad (por diferencia) (AOAC, 1990).

4.8 ABSORCION DE AGUA Y ACEITE:

Se pesaron 0.5 g de muestra y se adicionaron 2 g. de agua o aceite. Se mezclaron bien en Vortex durante 30 seg y se centrifugaron a 2000 rpm durante 15 min. Se eliminó el líquido

sobrenadante (con pipeta Pasteur) y se pesó la harina con el líquido absorbido para calcular el porcentaje de agua y de aceite retenidos (Rodríguez, 1986).

5 . R E S U L T A D O S .

5.1. OBTENCION DE LA HARINA DE PLATANO.

A partir de 30 Kg de plátano tabasco verde (en penca) se obtuvieron 22 kg. de plátano mondado y de aquí se obtuvieron 2.7456 Kg de harina de plátano. Por lo tanto la cantidad de harina de plátano obtenida a partir de plátano mondado corresponde a un rendimiento de 12.48 % con respecto al plátano en penca. La harina obtenida de este modo tuvo una coloración ligeramente amarillenta y una textura muy fina. Observándola detenidamente a simple vista se podían observar pequeñas semillitas negras.

5.2. MORFOLOGIA MICROSCOPICA.

La observación microscópica reveló la presencia de gránulos de almidón irregulares ovalados (Fig 5.1) de distintos tamaños que van de 15 a 50 micras de largo y de 8 a 20 micras de ancho. Estas mediciones se realizaron en un autoanalizador de imágenes computarizado (Fig. 5.2). También se observaron partículas en pequeña cantidad que no correspondían a gránulos de almidón, de forma fibrosa, probablemente residuos de la cáscara del plátano.

5.3. ANALISIS BROMATOLOGICO.

Los resultados del análisis bromatológico de la harina de plátano se presentan en la Tabla 5.1.

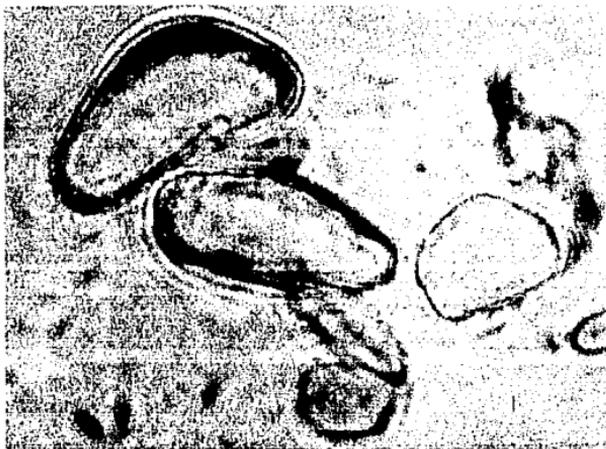


Fig. 5.1 Fotografía de los gránulos de almidón al microscopio (aumento: 40X).



Fig. 5.2 Imagen computarizada de los gránulos de almidón de harina de plátano (aumento: 40X).

	BASE HUMEDA	BASE SECA
HUMEDAD	5.37	-
CENIZAS	2.31	2.441
FIBRA CRUDA	2.186	2.304
GRASA	0.14	0.148
PROTEINA	1.98	2.092
CARBOHIDRATOS (DIFERENCIA)	88.02	93.015

Tabla 5.1. Análisis bromatológico de la harina de plátano.

Se observa que el componente mayoritario son los carbohidratos, los cuales le dan las características fisicoquímicas más importantes a la harina y son las que se van a aprovechar para su uso como aditivo.

5.4. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS.

El pH de la harina es de 4.1. Este es un valor adecuado para su utilización en una gran cantidad de alimentos, ya que por lo general, los alimentos tienen un pH ácido entre 4 y 6.5 aproximadamente.

La determinación de azúcares reductores directos se realizó tanto a la harina de plátano como a almidones purificados comerciales obteniéndose los resultados de la Tabla 5.2.

MUESTRA	CONCENTRACION DE AZUCARES REDUCTORES (mg/g)
Harina de plátano	346.85
Almidón SH	0.5031
Almidón 104	0.4467
Almidón de maíz	0.7029

Tabla 5.2. Azúcares reductores directos de la harina de plátano y otros almidones de uso en la Industria Alimenticia.

Se observa que la harina de plátano tiene un contenido en azúcares reductores mucho más elevado que cualquier otro de los almidones analizados, lo cual es un resultado lógico por el origen de la harina y porque es un producto crudo, no purificado. Esto puede tener tanto ventajas como desventajas para su uso como aditivo en alimentos.

El tamaño de partícula se determinó utilizando dos mallas de distintas aberturas:

80 (mayor a 0.131 mm): 4.525% de retención

100 (entre 0.131 y 0.110 mm): ... 95.435% de retención

Contenedor (menor a 0.110 mm): .. 0.04 % no retenido

Esto indica que la mayor parte de la harina de plátano obtenida (95.435 %) tiene un tamaño de partícula entre 0.131 y 0.110 mm, el 4.525 % de la harina tiene un tamaño de partícula mayor de 0.131 mm y solamente el 0.04 % tiene un tamaño de partícula menor a 0.110 mm. Estos valores de retención son muy similares a los que se obtienen con harina de trigo, pero son muy elevados si se comparan con almidones purificados, cuyo tamaño de partícula es menor.

Para la determinación del color se obtuvieron los resultados de la Tabla 5.3, y en base a ellos se realizaron los cálculos correspondientes (Tabla 5.4). Los resultados son lecturas directas del colorímetro utilizado y los cálculos son los recomendados por el mismo proveedor.

		Promedio:	Standard:
L = 86.96	L = 86.33	L = 86.645	L = 9.9
a = - 2.26	a = - 2.3	a = - 2.28	a = - 0.7
b = 13.16	b = 13.83	b = 13.495	b = - 0.3

Tabla 5.3. Lecturas directas para la determinación del color de la harina de plátano.

$$DTC = [(L_m - L_s)^2 + (a_m - a_s)^2 + (b_1 - b_s)^2]^{1/2}$$

HARINA DE PLATANO:

$$L_m - L_s = 86.645 - 9.9 = 76.745$$

$$a_m - a_s = -2.28 + 0.7 = 1.58$$

$$b_1 - b_s = 13.495 + 0.3 = 13.795$$

$$DTC_{\text{plátano}} = 77.99$$

HARINA DE TRIGO:

$$L_m - L_s = 91.2 - 9.9 = 81.3$$

$$a_m - a_s = -0.36 + 0.7 = 0.34$$

$$b_1 - b_s = 7.16 + 0.3 = 7.46$$

$$DTC_{\text{trigo}} = 81.64$$

$DTC_{\text{trigo}} - DTC_{\text{plátano}} =$ color de la harina de
plátano con respecto al trigo

$$DTC_{\text{trigo}} - DTC_{\text{plátano}} = 3.65$$

Tabla 5.4. Cálculos para la cuantificación del color de la harina de plátano con respecto a la harina de trigo.

Uno de los parámetros más importantes en el desarrollo de este trabajo es la actividad de agua A_w . Se determinó por lo tanto el valor de actividad de agua (A_w) de la harina obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 5.5.

TEMPERATURA (°C)	Aw
24.0	0.334
24.5	0.33
24.6	0.33
24.8	0.343
20.5	0.31
20.5	0.33
20.5	0.32
Prom Aw:	0.3295
Prom T°:	22.77

Tabla 5.5. Aw de la harina de plátano.

5.5. ANALISIS MICROBIOLOGICO.

Los resultados del análisis microbiológico se presentan en la Tabla 5.6. Se observa que todas las pruebas realizadas se encuentran dentro de las normas establecidas para polvos y se afirma que el producto tiene la calidad microbiológica adecuada para ser consumido.

PRUEBA	RESULTADO (colonias/ml)
Cuenta estandar	90
Hongos	< 10
Levaduras	< 10
Coliformes	< 10

Tabla 5.6. Análisis microbiológico de la harina de plátano.

5.6. VISCOAMILOGRAMA.

El viscoamilograma (Fig. 5.3.) obtenido para la harina de plátano tabasco, proporciona los siguientes datos:

a) Viscosidad de la pasta a 94°C (punto de gelatinización): 130 UB.

b) Punto máximo de viscosidad (Pastificación): 225 UB a 95°C.

c) Viscosidad final después del primer periodo de calentamiento: 240 UB a 50°C.

d) Viscosidad de la pasta cocinada después del enfriamiento a 50°C: 240 UB.

e) Viscosidad al final del segundo periodo de calentamiento (disminución de la viscosidad por la retrogradación del almidón, insolubilización y precipitación de la amilosa): 280 UB. a 48°C.

Nota: UB = Unidades Brabender.

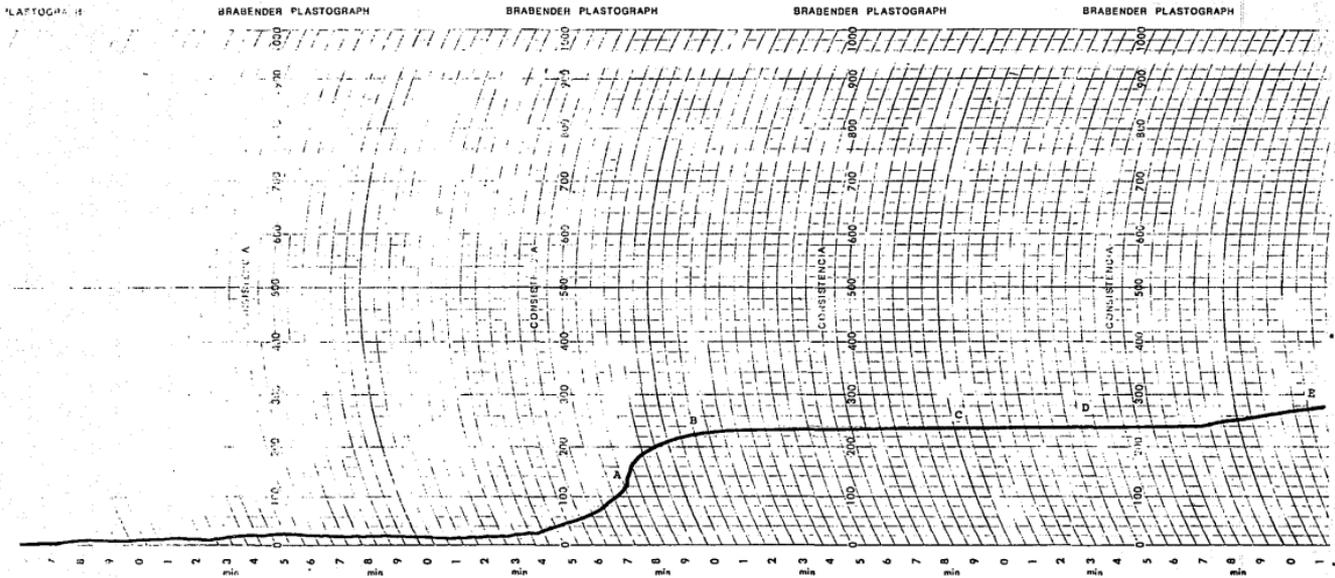


Fig. 5.3. Viscoamilograma obtenido durante el calentamiento de la harina de plátano.

5.7. EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO.

Este experimento se llevó a cabo combinando 4 pHs y 8 temperaturas distintas (ver sección 6.2); se realizaron por triplicado obteniéndose los resultados de la Tabla 5.7.

pH T°	4	5	6	7
25	35.26	32.97	32.90	23.35
	35.90	33.90	34.22	24.22
	34.89	31.74	33.30	25.40
35	31.23	32.83	35.64	20.29
	29.78	33.73	33.82	21.85
	32.48	33.15	35.06	21.21
45	33.09	24.60	28.19	18.85
	35.22	26.54	33.12	20.01
	33.51	27.57	29.72	20.27
55	22.44	24.53	29.98	29.44
	24.44	24.86	29.59	26.24
	28.86	25.00	28.38	23.45
65	29.63	30.70	24.00	30.81
	29.74	30.78	27.53	30.23
	28.93	30.28	26.84	30.57
75	29.96	33.76	28.66	25.07
	30.07	33.71	28.71	26.88
	31.52	29.43	27.89	23.72
85	31.14	32.42	28.56	23.66
	31.82	32.78	30.23	20.26
	33.99	31.45	32.60	22.38
92	40.40	24.06	34.88	29.34
	40.06	26.83	32.26	25.15
	36.00	25.33	36.96	24.27

Tabla 5.7 Efecto del pH y la temperatura sobre la solubilidad de la harina de plátano.

La gráfica de la Fig. 5.4 presenta un perfil de solubilidad cuando se utilizan los tratamientos combinados de diferentes valores de pH y de temperatura. Se observa que en general la solubilidad es mayor cuando la temperatura es muy baja o muy alta (25 y 92°C), y cuando el pH es bajo. Los valores de pH más elevados (6 y 7) ejercen un efecto negativo sobre la solubilidad. Es importante hacer notar que en esta figura únicamente se tomaron en cuenta los valores promedio de las solubilidades y no se tomaron en cuenta las varianzas entre ellos.

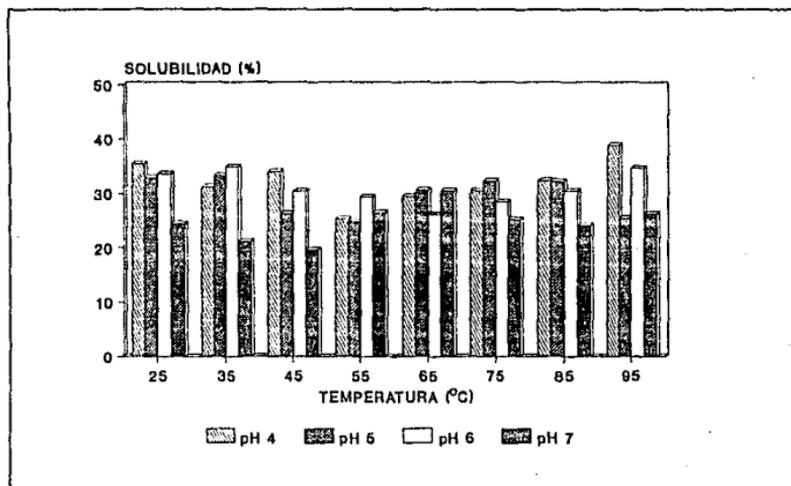


Fig. 5.4. Efecto de la temperatura y el pH sobre la solubilidad de la harina de plátano.

Se realizó un análisis estadístico sobre este experimento, el cual se presenta en la sección 6.2. Este análisis incluye un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

5.8. ABSORCION DE AGUA Y DE ACEITE.

Este experimento se realizó mediante la comparación de la harina de plátano con almidones comerciales: SH, 102 y almidón de maíz. Una de las pruebas se realizó con agua y otra con aceite para determinar el grado de absorción de ambos líquidos. Los resultados se presentan en la Tabla 5.8.

Se puede observar que el almidón SH y 104 son capaces de absorber una mayor cantidad de agua que el almidón de maíz y la harina de plátano (Fig. 5.5). En cuanto a la absorción de aceite el mejor es el almidón de maíz seguido por el SH y la harina de plátano (Fig. 5.6).

En la Fig. 5.5 y 5.6 se presentan gráficamente los resultados anteriores, de manera que se puede observar cuales son los almidones que tienen la mayor capacidad de absorción, tanto de agua como de aceite.

Los resultados de este experimento se compararon estadísticamente y este análisis se presenta en la sección 6.3. Al igual que el experimento anterior, se hizo un análisis de varianza y una prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

	ALMIDON SH	ALMIDON 104	ALMIDON DE MAIZ	HARINA DE PLATANO
AGUA	1.12	1.14	0.84	0.92
	1.16	1.22	0.86	0.88
	1.14	1.12	0.84	0.84
ACEITE	0.94	0.87	1.02	0.94
	0.94	0.83	0.94	0.85
	0.87	0.80	0.94	0.94

Tabla 5.8. Absorción de agua y de aceite de los distintos almidones analizados.

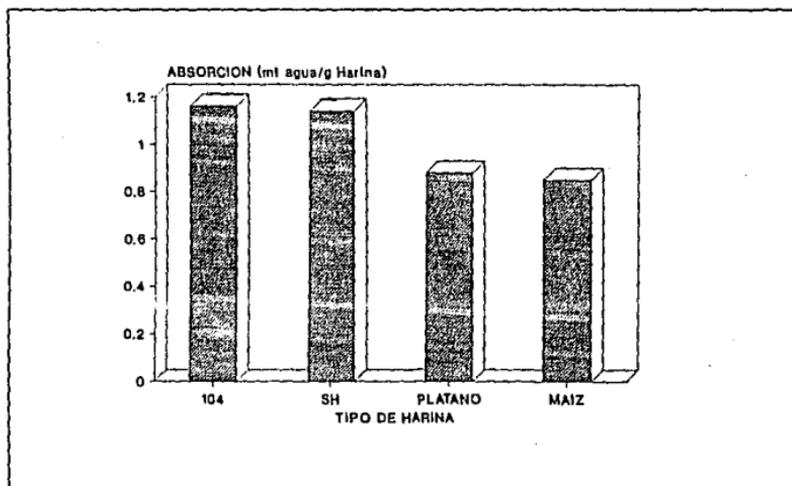


Fig. 5.5. Absorción de agua de diversos almidones.

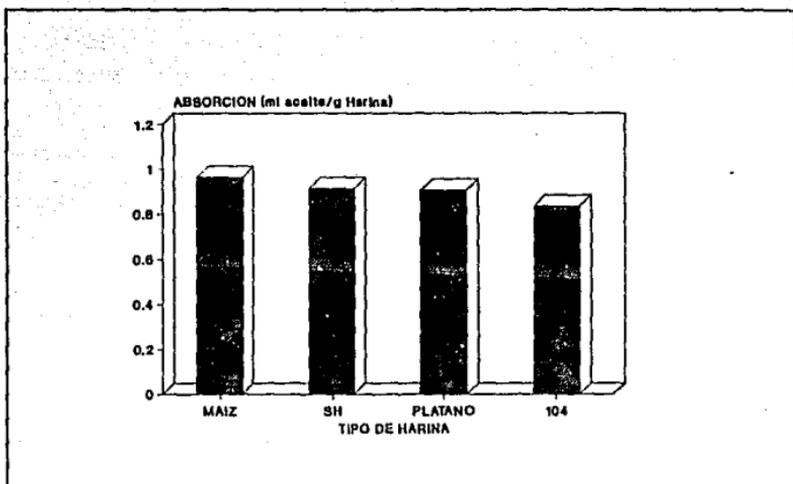


Fig. 5.6. Absorción de aceite de diversos almidones.

6. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.

6.1. ANTECEDENTES TEORICOS:

6.1.1. DISEÑO EXPERIMENTAL:

De todos los diseños experimentales que se utilizan en la actualidad, parece ser que el diseño de bloques completamente aleatorizados es el que hasta ahora se utiliza con mayor frecuencia. Este diseño fué desarrollado en el año de 1925 por R.A. Fisher, quien estaba buscando métodos para mejorar los experimentos en el campo de la agricultura (Daniel, 1991).

En un experimento diseñado estadísticamente es de gran importancia el concepto de repetición. El propósito de la repetición es medir el error experimental. La magnitud de éste juega un papel muy importante en la toma de decisiones con respecto a la posibilidad de que las diferencias entre los tratamientos sean discernibles en forma estadística (Canavos, 1990).

El diseño en bloques completamente aleatorizados es un diseño en el que las unidades (llamadas unidades experimentales) a las que se les aplican los tratamientos, se subdividen en grupos homogéneos llamados bloques, de modo que el número de unidades experimentales en un bloque es igual al número (o a algún múltiplo del mismo) de tratamientos que se

están estudiando. Se asignan entonces al azar los tratamientos a las unidades experimentales dentro de cada bloque. Debe tenerse en cuenta que cada tratamiento aparece en todos los bloques y que cada bloque recibe todos los tratamientos (Daniel, 1991).

El objetivo de utilizar el diseño de bloques completos aleatorizados es aislar y eliminar del término de error la variación atribuible a los bloques, a la vez que se asegura que las medias de los tratamientos estén libres de los efectos de bloque. La efectividad del diseño depende de la habilidad para lograr bloques homogéneos de unidades experimentales. La habilidad para formar bloques homogéneos depende del conocimiento del investigador sobre el material experimental. Cuando el diseño se utiliza apropiadamente, disminuye el cuadrado medio del error en la tabla de ANOVA, aumenta la Relación entre las Varianzas (R.V) y mejora la oportunidad de rechazar la hipótesis nula (Daniel, 1991).

El investigador reconoce la necesidad de agrupar en bloques, mediante la identificación de los elementos potenciales de las unidades experimentales que no se han incluido en la definición de un tratamiento, pero que pueden causar una variación significativa en la respuesta. La necesidad de agrupar en bloques es evidente; entre más heterogéneas son las unidades experimentales, mayor es el error experimental y menor la oportunidad de detectar diferencias reales entre los diversos tratamientos. La razón de agrupar en bloques es tomar en cuenta, y de esta forma

remover, la fuente de variación en la respuesta que no es de interés, con lo que se incrementa la sensibilidad para detectar diferencias entre los tratamientos. Así, el principio general de un diseño estadístico radica en minimizar el error experimental mediante el control de las variaciones extrañas, de manera que pueda detectarse la variación sistemática en la respuesta en base a las fuentes de variación de interés (Canavos, 1992).

6.1.2. ANALISIS DE VARIANZA:

En el análisis de los datos de un diseño de bloques completamente aleatorizados, se puede seguir el procedimiento de análisis de varianza (ANOVA). El análisis de varianza es una técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se distribuye en varios componentes. Asociada con cada uno de estos componentes hay una fuente específica de variación, de modo que en el análisis es posible averiguar la magnitud de las contribuciones de cada una de estas fuentes a la variación total (Canavos, 1990).

En la presentación del análisis de varianza se sigue el siguiente formato:

1) **MODELO:** El modelo consiste en una representación simbólica de un valor típico tomado de los datos que se están analizando. En el modelo se aprecia que una observación típica del conjunto total de datos bajo estudio está compuesta por la gran media, un efecto de los tratamientos

involucrados y un término de error que representa la desviación de la observación de la media de su grupo.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

2) *SUPOSICIONES*: Los conjuntos de datos observados constituyen muestras aleatorias independientes de las poblaciones respectivas. Cada una de las poblaciones de las cuales provienen las muestras está distribuida normalmente con media μ y varianza σ^2 . Cada una de las poblaciones involucradas tiene la misma varianza, pero las varianzas de las muestras de cada población tienen varianzas distintas s^2 .

3) *HIPOTESIS*: Puede probarse la hipótesis nula de que todas las medias de las poblaciones o tratamientos son iguales contra la alternativa de que los miembros de por lo menos una pareja no son iguales:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

vs.

$$H_a: \text{al menos una } \mu_j \text{ es distinta.}$$

4) *TABLA DE ANOVA*: Es necesario calcular las sumas de los cuadrados dentro de los grupos y entre grupos a partir de los datos. En base a estas sumas de cuadrados pueden obtenerse dos estimaciones de la varianza común de la población, σ^2 . Puede demostrarse que cuando se satisfacen las suposiciones y todas las medias de las poblaciones son iguales, tanto la suma de cuadrados entre las poblaciones

como la suma de cuadrados dentro de los grupos se dividen entre sus respectivos grados de libertad y proporcionan estimaciones independientes e insesgadas de σ^2 . Estas dos cantidades se denominan cuadrado medio dentro de los grupos y entre grupos respectivamente. Lo que se necesita ahora es comparar estas dos estimaciones de σ^2 , para lo cual se calcula una razón de varianzas. De esta manera se obtiene un valor de F (F_{calc}) para ser utilizado en la prueba de F con la cual se prueban las hipótesis planteadas anteriormente.

5) *DECISION*: Para llegar a una decisión, debe compararse el valor de la razón de varianzas calculada (F_{calc}) contra el valor crítico de F que se obtiene consultando las tablas adecuadas utilizando los grados de libertad obtenidos. Se rechaza H_0 si F_{calc} es mayor que F de tablas, es decir, si F_{calc} se encuentra en la región de rechazo (Daniel, 1991).

6.1.3. PRUEBA PARA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE PAREJAS INDIVIDUALES DE MEDIAS:

Siempre que el análisis de varianza conduce al rechazo de la hipótesis nula surge la pregunta que se refiere precisamente a qué parejas de medias son distintas (Canavos, 1990). Para esto se utilizan las pruebas para diferencias significativas entre parejas individuales de medias.

Durante varios años se han sugerido diversos procedimientos para hacer comparaciones individuales. El procedimiento más antiguo y quizá el que se utilizó más

ampliamente en el pasado, es el procedimiento de la *mínima diferencia significativa* (MDS). Este procedimiento, que es una prueba de *t* de Student que utiliza una varianza mancomunada del error, sólo es válido cuando se hacen comparaciones independientes. Una diferencia entre dos medias cualesquiera se considera como significativa en el nivel de significación utilizado al calcular la MDS (Daniel, 1991).

Duncan ha realizado innumerables investigaciones sobre el tema de las comparaciones múltiples con el resultado de que, en la actualidad, un procedimiento que se utiliza ampliamente es el de la *nueva prueba de amplitud múltiple de Duncan*. Un procedimiento de comparación múltiple desarrollado por Tukey se utiliza con frecuencia para probar las hipótesis nulas de que todas las parejas posibles de medias de los tratamientos son iguales cuando las muestras son del mismo tamaño. La prueba de Tukey, que se conoce en general como la prueba de DVS (*diferencia verdaderamente significativa*), utiliza un solo valor con el cual se comparan todas las diferencias (Daniel, 1991).

6.2. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DEL EFECTO DEL pH Y DE LA TEMPERATURA SOBRE LA SOLUBILIDAD DE LA HARINA DE PLATANO.

6.2.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO:

En este diseño se pretende analizar los efectos aislados del pH y de la temperatura y el efecto combinado del ambos tratamientos sobre la solubilidad de la harina de plátano. Se controlaron todas las fuentes de variación que pudieran afectar la solubilidad de la harina: tiempo de agitación, velocidad de agitación, peso de la muestra, volumen de agua. De esta manera aseguramos que el efecto sobre la solubilidad se debe únicamente a las fuentes que estamos variando.

Los niveles que se manejaron en este diseño fueron:

- a) Temperatura: 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 y 92°C.
- b) pH: 4, 5, 6 y 7.

Se realizaron tres repeticiones en cada uno de los bloques como se muestra en la Tabla. 6.1.

6.2.2. ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL EXPERIMENTO.

El análisis estadístico se realizó con el paquete computacional SAS (SAS Institute Inc, 1985) obteniéndose la Tabla de ANOVA (6.2). Para el efecto de pH, el efecto de temperatura y el efecto combinado de ambos factores se

pH	T°							
	25	35	45	55	65	75	85	92
4	Y ₁₁₁	Y ₁₂₁	Y ₁₃₁	Y ₁₄₁	Y ₁₅₁	Y ₁₆₁	Y ₁₇₁	Y ₁₈₁
	Y ₁₁₂	Y ₁₂₂	Y ₁₃₂	Y ₁₄₂	Y ₁₅₂	Y ₁₆₂	Y ₁₇₂	Y ₁₈₂
	Y ₁₁₃	Y ₁₂₃	Y ₁₃₃	Y ₁₄₃	Y ₁₅₃	Y ₁₆₃	Y ₁₇₃	Y ₁₈₃
5	Y ₂₁₁	Y ₂₂₁	Y ₂₃₁	Y ₂₄₁	Y ₂₅₁	Y ₂₆₁	Y ₂₇₁	Y ₂₈₁
	Y ₁₁₂	Y ₁₂₂	Y ₁₃₂	Y ₁₄₂	Y ₂₅₂	Y ₂₆₂	Y ₂₇₂	Y ₂₈₂
	Y ₁₁₃	Y ₁₂₃	Y ₁₃₃	Y ₁₄₃	Y ₂₅₃	Y ₂₆₃	Y ₂₇₃	Y ₂₈₃
6	Y ₃₁₁	Y ₃₂₁	Y ₃₃₁	Y ₃₄₁	Y ₃₅₁	Y ₃₆₁	Y ₃₇₁	Y ₃₈₁
	Y ₃₁₂	Y ₃₂₂	Y ₃₃₂	Y ₃₄₂	Y ₃₅₂	Y ₃₆₂	Y ₃₇₂	Y ₃₈₂
	Y ₃₁₃	Y ₃₂₃	Y ₃₃₃	Y ₃₄₃	Y ₃₅₃	Y ₃₆₃	Y ₃₇₃	Y ₃₈₃
7	Y ₄₁₁	Y ₄₂₁	Y ₄₃₁	Y ₄₄₁	Y ₄₅₁	Y ₄₆₁	Y ₄₇₁	Y ₄₈₁
	Y ₄₁₂	Y ₄₂₂	Y ₄₃₂	Y ₄₄₂	Y ₄₅₂	Y ₄₆₂	Y ₄₇₂	Y ₄₈₂
	Y ₄₁₃	Y ₄₂₃	Y ₄₃₃	Y ₄₄₃	Y ₄₅₃	Y ₄₆₃	Y ₄₇₃	Y ₄₈₃

Tabla 6.1. Diseño del experimento para el análisis del efecto de la temperatura y el pH sobre la solubilidad de la harina de plátano.

obtiene un valor de F_{calc} mayor a la F de tablas, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0 : todas las muestras tienen la misma media) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a : al menos una media poblacional es distinta). El nivel de significancia (α) con el que se rechaza es de 0.0001; esto

significa que existe una confiabilidad del 99.99 % de que las poblaciones sean distintas y de que existe un efecto de tratamiento aislado en los dos primeros casos y un efecto combinado en el tercer caso.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	α
TEMPERATURA	7	248.68	35.5	41.74	0.0001
pH	3	823.15	278.4	113.86	0.0001
TEMP * pH	21	842.34	40.1	16.64	0.0001
ERROR	64	154.24	2.4		
TOTAL	95	2068.40			

Tabla 6.2. Tabla de ANOVA para el efecto del pH, de la temperatura y el efecto combinado de ambos factores sobre la solubilidad de la harina de plátano.

6.2.3. PRUEBA PARA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE PAREJAS INDIVIDUALES DE MEDIAS:

Al rechazar la hipótesis nula H_0 queremos conocer cuáles son los bloques distintos y cuáles son los tratamientos que ejercen un mejor efecto sobre la solubilidad de la harina. Para ello se realizó la prueba de Rangos Múltiples de Duncan sobre los efectos aislados y el efecto combinado de las

diferencias que se muestran en las Tablas 6.3, 6.4 y 6.5.

		MEDIAS	TRATAMIENTO
	A	31.504	25
B	A	31.295	92
B	C	30.089	35
	C	29.283	75
	C	29.274	85
	C	29.170	65
	D	27.558	45
	D	26.434	55

Tabla 6.3. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para el efecto de la temperatura sobre la solubilidad.

		MEDIAS	TRATAMIENTO
	A	32.098	4
	B	30.960	6
	C	29.790	5
	D	24.455	7

Tabla 6.4. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para el efecto del pH sobre la solubilidad.

						MEDIAS	TRATAMIENTO
A						38.820	4-92
B						35.350	4-25
B	C					34.840	6-35
B	C					34.700	6-92
B	C	D				33.940	4-45
B	C	D	E			33.473	6-25
B	C	D	E	F		33.237	5-35
B	C	D	E	F		32.973	5-75
B	C	D	E	F		32.870	5-25
C	D	E	F	G		32.317	4-85
C	D	E	F	G	H	32.217	5-85
D	E	F	G	H	I	31.163	4-35
E	F	G	H	I		30.587	5-65
E	F	G	H	I		30.537	7-65
E	F	G	H	I		30.517	4-75
F	G	H	I			30.463	6-85
F	G	H	I			30.343	6-45
G	H	I				29.433	4-65
H	I					29.317	6-55
I	J					28.420	6-75
J	K					26.377	7-55
J	K					26.253	7-92
J	K					26.237	5-45
J	K					26.123	6-65
K						25.407	5-92
K						25.247	4-55
K						25.223	7-75
K						24.797	5-55
K	L					24.323	7-25
L	M					22.100	7-85
M						21.117	7-35
M						19.710	7-45

Tabla 6.5. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para el efecto combinado de la temperatura y el pH sobre la solubilidad.

Las letras A, B, C, etc indican el orden (de mayor a menor) de las medias que se obtienen con los diferentes tratamientos, de manera que los tratamientos que tienen letra

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

A son los que presentan mejor comportamiento, es decir, mayor solubilidad con pequeña variabilidad. Cuando dos o más tratamientos tienen una misma letra quiere decir que no hay diferencia significativa entre ellos.

Con los resultados de esta prueba se puede afirmar que el pH al cual se obtiene la mayor solubilidad es 4, las temperaturas que promueven una mayor solubilidad son 25 y 95°C y que la combinación de un pH = 4 y una temperatura de 92°C producen la más alta solubilidad de la harina de plátano analizada.

6.3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE ABSORCION DE AGUA Y ACEITE DE LA HARINA DE PLATANO.

6.3.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO:

Para esta prueba se hizo una comparación de la absorción de agua y aceite de diversos almidones comerciales que se utilizan como aditivos en la Industria Alimentaria en la actualidad. Estos productos son: Almidón "SH", Almidón "104", almidón de maíz y la harina de plátano obtenida. Se probó la absorción de agua y de aceite en los cuatro productos en base a los siguientes controles: temperatura constante en todas las pruebas, peso de las muestras constante, tiempo de absorción igual para todas las muestras, cantidad de agua y de aceite adicionada constante, velocidad de centrifugación constante. Esto se hizo para controlar todas las fuentes de variación que pudieran afectar la absorción de nuestras muestras y obtener comparaciones válidas estadísticamente.

El diseño propiamente dicho tiene dos fuentes de variación: a) Tipo de muestra: Almidón "SH", Almidón "104", almidón de maíz y harina de plátano, y b) Fuente de absorción: agua y aceite.

Se planteó el diseño considerando tres repeticiones en cada bloque de la manera que se muestra en la Tabla 6.6.

Niveles de variación	ALMIDON SH	ALMIDON 104	ALMIDON DE MAIZ	HARINA DE PLATANO
AGUA	Y ₁₁₁	Y ₁₂₁	Y ₁₃₁	Y ₁₄₁
	Y ₁₁₂	Y ₁₂₂	Y ₁₃₂	Y ₁₄₂
	Y ₁₁₃	Y ₁₂₃	Y ₁₃₃	Y ₁₄₃
ACEITE	Y ₂₁₁	Y ₂₂₁	Y ₂₃₁	Y ₂₄₁
	Y ₂₁₂	Y ₂₂₂	Y ₂₃₂	Y ₂₄₂
	Y ₂₁₃	Y ₂₂₃	Y ₂₃₃	Y ₂₄₃

Tabla. 6.6. Diseño del experimento para la comparación de la absorción de agua y aceite de diversas muestras.

6.3.2. ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA) DEL EXPERIMENTO.

El análisis estadístico se realizó con el paquete computacional estadístico SAS (SAS Institute Inc, 1985) obteniéndose las Tablas de ANOVA de las Figuras 6.7 y 6.8.

Los resultados de estas tablas nos indican que se puede rechazar H_0 en ambos casos con un nivel de significancia (α) de 0.0001, recordando que se prueba :

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8$$

vs.

$$H_a: \text{al menos una } \mu \text{ es distinta.}$$

Esto significa que las distintas muestras analizadas presentan una absorción tanto de agua como de aceite diferente con un intervalo de confianza de 99.99 %.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	α
MUESTRA	3	0.2488	0.0829	67.24	0.0001
ERROR	8	0.0099	0.00123		
TOTAL	11	0.2587			

Tabla 6.7. Tabla de ANOVA para la comparación de la absorción de agua de diversas muestras.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	α
MUESTRA	3	0.02525	0.0084	4.53	0.0388
ERROR	8	0.01485	0.001856		
TOTAL	11	0.0401			

Tabla 6.8. Tabla de ANOVA para la comparación de la absorción de aceite de diversas muestras.

6.3.3. PRUEBA PARA DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE PAREJAS INDIVIDUALES DE MEDIAS:

El rechazo de la hipótesis nula nos lleva ahora a realizar las pruebas de Rangos Múltiples de Duncan de cada una de las parejas de interés. Los resultados de los análisis de Duncan son los que se observan en las Tablas 6.9 y 6.10.

	MEDIAS	TRATAMIENTO
A	1.1600	104
A	1.1400	SH
B	0.8800	PLATANO
B	0.8467	MAIZ

Tabla 6.9. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan sobre el efecto del tipo de muestra sobre la absorción de agua.

Se observa en este caso que los almidones que tienen mayor capacidad de absorción de agua son el 104 y el SH y que no hay diferencia significativa entre ellos. Así mismo, entre el almidón de maíz y la harina de plátano no hay diferencia significativa en cuanto a absorción de agua, peor que el nivel de absorción de estas dos muestras es mucho más bajo que el de los almidones 104 y SH.

		MEDIAS	TRATAMIENTO
	A	0.9638	MAIZ
A	B	0.9131	SH
A	B	0.9058	PLATANO
	B	0.8350	104

Tabla 6.10. Prueba de Rangos Múltiples de Duncan sobre el efecto del tipo de muestra sobre la absorción de aceite.

El almidón que presenta la mayor capacidad de absorción de aceite es el almidón de maíz, pero sin presentar diferencia significativa con el almidón SH no con la harina de plátano. De manera similar, no se encontró diferencia significativa entre el almidón SH, la harina de plátano y el almidón 104.

7. D I S C U S I O N .

En la actualidad en nuestro país existe un excedente en la producción de plátano de la variedad *Musa van Sapientum*. Se satisface la demanda de este producto y la cosecha no se alcanza a consumir. Por este motivo se han buscado alternativas para la utilización de estos excedentes y se encontró en diversas referencias algunos usos que se han implementado en los últimos años para el aprovechamiento de los excedentes de plátano maduro (Tamaro, 1968; Sánchez, 1979), pero se considera que no han sido aceptados por el público en la medida que se pretende (excepto los alimentos preparados especialmente para bebés) y se intenta buscar una nueva alternativa que tenga un uso más generalizado.

Con esta idea se pensó trabajar con plátano verde transformándolo en harina y determinando las características y propiedades más importantes que puedan ser utilizadas en algún producto alimenticio. Este trabajo está enfocado únicamente a la determinación y análisis de las propiedades fisicoquímicas de la harina de plátano que se obtiene con el fruto en estado verde. No se pretende demostrar su valor nutricional ya que esto está comprobado ampliamente (Hernández, 1987; Mancera, 1951). En base a los resultados de estas pruebas se propondrán alternativas distintas a las reportadas anteriormente, de

manera que se pueda generalizar el uso de este producto en la Industria Alimenticia.

Los resultados de este trabajo indican que la harina de plátano que se obtuvo es un producto que puede ser utilizado como aditivo para alimentos. En primer lugar, las características microscópicas observadas concuerdan con lo que se ha reportado para almidones de plátano purificados; en la muestra analizada se encuentran además de los gránulos de almidón algunas partículas provenientes de la misma fruta, lo que eleva su valor nutritivo.

El análisis bromatológico también concuerda con lo reportado en las referencias consultadas; estas dos pruebas se realizaron únicamente para comprobar las características reportadas con la harina obtenida. Esto nos lleva a afirmar que las propiedades nutricionales de la harina de plátano deben ser iguales a las que se han reportado en diversas referencias.

Una característica importante de la harina de plátano es el pH, debido a que es un parámetro fisicoquímico que determinará la aplicación que se le pueda dar dentro de la Industria Alimenticia. El rango de pH en el que se encuentran casi todos los alimentos es de 4-6 (Frazier, 1978). El pH de la harina es un pH ácido que puede ser compatible con casi todos los alimentos, por lo tanto, permite su uso en casi

cualquier producto alimenticio. Este resultado era de esperarse, ya que nuestro producto proviene de una fruta en estado inmaduro que tiene una gran cantidad de ácido oxálico (Pantastico,1984) y su pH por lo tanto también es ácido.

Se obtiene también una cantidad de azúcares reductores directos muy por encima de los que se obtienen para otros almidones. Esta característica puede restringir en gran medida su aplicación en algunos alimentos que requieran elevadas concentraciones de aditivos, ya que posiblemente pueda modificar las características organolépticas en productos que no toleren la adición de edulcorantes. Posiblemente en este tipo de alimentos, la concentración de harina adicionada deberá ser baja. En cambio para productos dulces o que requieran de cierta cantidad de edulcorantes, esta característica no será una limitante.

Otro de los resultados del análisis de las propiedades fisicoquímicas de la harina, mostró que el tamaño de partícula de la harina es muy pequeño, y se pudo observar que el material que tiene un tamaño de partícula más grande corresponde principalmente a semillitas, fibras y partículas de pulpa que no fueron molidas adecuadamente durante el proceso previo al secado. Probablemente deberá ser necesario un tamizado de la harina previo a su utilización para eliminar estas partículas, que de no eliminarse pueden dar un aspecto desagradable al producto, sobre todo si éste es translúcido. A

pesar de esta observación, la mayor parte de la harina de plátano tiene un tamaño de partícula pequeño comparable al de la harina de trigo, lo cual indica que el tamaño obtenido es adecuado para su utilización.

En cuanto al color, los resultados obtenidos indican que el color de la harina de plátano (77.99) es ligeramente más oscuro que el de la harina de trigo (81.64). Es conveniente mencionar que el valor 100 corresponde al blanco perfecto, por lo que los valores 77.9 y 81.64 indican qué tanto se acerca el color de la muestra al blanco perfecto. Es una ventaja obtener una harina prácticamente del mismo color de la harina de trigo, ya que muchas veces se utiliza ésta como referencia para diversas pruebas en distintas harinas.

Como ya se mencionó anteriormente (Sección 5.4), la actividad de agua es uno de los parámetros más importantes cuando se analizan productos en polvo, ya que estos no deben de contener agua libre, de lo contrario se puede favorecer el crecimiento de microorganismos que dañen de una u otra manera nuestro producto (toxinas, características sensoriales, disminución del valor nutricional, etc). Cuando un producto pasa por el secado por aspersión se pretende que su vida útil se prolongue, pero para ello se debe lograr una eliminación de agua casi total, es decir, que la actividad de agua sea muy baja. De esta manera se logra el objetivo de preservación. En nuestro caso se obtiene una $A_w = 0.3295$ que corresponde a una

humedad total de 5.37%. Es un valor adecuado para un polvo, siempre y cuando las condiciones de almacenamiento no permitan su hidratación posterior, lo que puede provocar apelmazamiento en el producto, o bien, el crecimiento de microorganismos. Es importante mencionar también que la presentación de la harina de plátano permite su uso en polvos alimenticios: gelatinas, bebidas en polvo, leche, etc con la ventaja de que no proporciona sabor dominante.

El análisis microbiológico practicado a la harina indica que se encuentra dentro de las normas de calidad microbiológica establecidas , ya que la cuenta bacteriana de mesofílicos es muy baja y no se encontraron hongos, levaduras ni coliformes. Sin embargo, si la harina se conserva en condiciones inadecuadas y se humedece, es probable que se contamine y proliferen microorganismos indeseables, ya que la harina de plátano es una fuente de carbohidratos y sales minerales muy rica, además de poseer también fuente de nitrógeno para el desarrollo de microorganismos. Por ello es recomendable tener todas las precauciones posibles (principalmente empaques adecuados para evitar la absorción de humedad) para la conservación de este producto.

El viscoamilograma presenta los puntos importantes que indican la transformación del almidón de la harina como respuesta a la temperatura, de tal manera que se puede determinar a qué temperatura el almidón de la harina de

plátano presenta gelificación (94°C). Esta temperatura es un valor promedio, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura, debido a que algunos son más resistentes, y por tanto pueden requerir hasta 10°C más que otros (Baduí, 1986). La determinación del punto de gelificación es uno de los parámetros más importantes, ya que se sabe que el almidón que ha sido pregelatinizado es soluble a temperatura ambiente. Esta es una manera de obtener almidones modificados (Baduí, 1986).

El análisis realizado sobre efecto de la temperatura y el pH sobre la solubilidad de la harina de plátano nos indica en resumen que si queremos trabajar con nuestra harina como aditivo es necesario que el producto tenga características de pH y de temperatura lo más parecido posible a las condiciones óptimas de solubilidad encontradas (pH = 4 y 92°C o bien pH = 4 y 25°C , que son las dos condiciones que favorecen la solubilidad). En general los alimentos se consumen con un elevado porcentaje de agua. Es necesario entonces encontrar el producto adecuado en el que se pueda adicionar nuestra harina de plátano y donde ésta ejerza el efecto aditivo que deseamos. En algunos casos (aderezos, emulsiones), el componente mayoritario es el aceite, por lo cual también es importante el conocimiento que se tenga sobre la capacidad de absorción de aceite de la harina.

Las características de absorción de agua y aceite de la harina de plátano también nos van a proporcionar información acerca de cuáles son los alimentos en los cuales puede ser utilizada la harina. En general se observó que absorbe poca agua en comparación con otros almidones y se encuentra entre los mejores en cuanto a absorción de aceite se refiere. Esta característica nos puede orientar hacia alimentos con elevado contenido de grasas.

Al realizar un análisis global de todas estas características se puede afirmar que la harina de plátano es un producto versátil, que se puede utilizar en una variedad muy amplia de productos alimenticios.

A continuación se analizarán las funciones como aditivo que puede proporcionar la harina y la viabilidad de cada una de ellas.

En base a los resultados obtenidos se proponen las siguientes aplicaciones:

- a) Agente emulsificante en productos con elevado contenido de grasa: En los alimentos tipo "Mayonesa y Aderezos", el componente mayoritario es el aceite. Este tipo de productos requieren de un agente emulsificante para estabilizar la emulsión. Las características de pH permiten utilizar la harina de plátano en este tipo de productos. Además, son productos que requieren de la adición de algún edulcorante, por lo cual la cantidad de azúcares reductores presentes en la harina de plátano no

limita su aplicación en este tipo de aderezos. Además, la capacidad de absorción de aceite de la harina de plátano es elevada, lo cual ofrece una ventaja adicional sobre otros almidones que se utilizan en alimentos con elevado contenido de agua.

b) Agente antiaglomerante en bebidas en polvo: Se propone también utilizar la harina de plátano en formulaciones para bebidas en polvo debido a que es un producto que fácilmente absorbe humedad, y se elevan costos en desarrollo de empaques adecuados. Una manera de controlar la humidificación de este tipo de productos es mediante la adición de agentes antiaglomerantes. Inclusive es posible la utilización combinada de dos agentes antiaglomerantes.

c) Agente inhibidor de sinéresis: Es posible que la harina de plátano pueda ser utilizada como este tipo de agentes, inhibiendo el desprendimiento de agua en geles ya formados, por ejemplo en quesos o en gelatinas, flanes y pudines.

Todas estas aplicaciones son propuestas en base a los resultados que presentó el análisis de la harina de plátano, pero será necesario estudiar detalladamente cada una de estas posibilidades. Estos estudios se sugieren como posibles temas de tesis en un futuro.

8. CONCLUSIONES .

Las conclusiones de la presente investigación sobre las propiedades funcionales de la harina de plátano secado por aspersión son:

- a) El proceso de secado por aspersión de la harina de plátano verde se optimizó realizando un pretratamiento de la muestra con metabisulfito de sodio y ácido cítrico como antioxidantes y utilizando las siguientes condiciones de secado:

Temperatura de entrada: 130-140°C

Temperatura de salida: 80- 90°C

Tiempo de secado: 50 min.

- b) La aplicación del método de secado por aspersión para la conservación y utilización de la pulpa de plátano verde es eficaz, ya que las características de este producto son adecuadas para su aplicación en la industria de los alimentos.
- c) Las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del polvo obtenido a partir de la pulpa de plátano verde complementan lo que hasta ahora ha sido reportado para la fruta mencionada, pues aportan conocimientos básicos sobre las propiedades de la harina de plátano.
- d) El viscoamilograma obtenido muestra las características del almidón de plátano no purificado; son comparables a las del almidón de maíz, lo cual puede hacer posible la substitución de esta última por harina de plátano en

ciertas formulaciones de alimentos.

- e) Los análisis comparativos con otros almidones de amplio uso industrial (almidón SH, almidón 104 y almidón de maíz) demuestran que hay características en la harina de plátano que son comparables a las de este tipo de almidones, por ejemplo, pH, Aw, absorción de agua y aceite; esto sienta las bases para proponer la sustitución de algunos de estos almidones de uso común por la harina de plátano.
- f) Por último, se puede afirmar que la harina de plátano obtenida mediante el método de secado por aspersion puede ser utilizada como aditivo en alimentos funcionando como sustituto de almidones en algunos alimentos. Las propiedades funcionales que probablemente se puedan impartir con harina de plátano (a reserva de un estudio más completo) pueden ser: emulsificación, agente inhibidor de sinéresis, estabilizante y antiaglomerante.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- AOAC (1990). OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS. K. Herlich (editor) Association of Official Analytical Chemists. 15^a edición. Vol. I y II. Arlington, Virginia, U.S.A. pp. 341-342, 763, 770-771, 777, 780
- Badui Dergal, S. (1986). QUIMICA DE LOS ALIMENTOS. Editorial Alhambra Mexicana. 1^a Edición. México, D.F. pp. 82-91.
- BIOXON (1989) MANUAL DE MEDIOS DE CULTIVO. Información Técnica. U.S.A. pp. 5-14.
- Canavos, G.C. (1990) PROBABILIDAD Y ESTADISTICA. APLICACIONES Y METODOS. Mc. Graw-Hill. México. pp. 401-426.
- Crowter, P. C. (1979). THE PROCESSING OF BANANA PRODUCTS FOR FOOD USE. Rp. Trop. Prod. Inst. G 12, London.
- Daniel, W.W. (1991) BIOESTADISTICA. Noriega Limusa. México, 3a. edición. pp.283-322.
- De la Fuente M., M^a E. (1981). ALGUNAS CARACTERISTICAS DEL ALMIDON DE CAMOTE (*Ipomoea batatas*) Y DEL MAKAL (*Colocasia antiquorum*). Tesis Profesional. ULSA. México, D.F. pp. 19-29.
- Desrosier, N.W. (1990). CONSERVACION DE ALIMENTOS. Ed. C.E.C.S.A. 18a. edición. México. pp. 157-196.
- Díaz Delgado, D. (1982) MANUAL PARA EL PROCESAMIENTO Y CONSERVACION DE ALGUNAS FRUTAS TROPICALES PORMETODO QUIMICO. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia. pp 15, 16, 19, 20, 26 y 29.

- Egan, H., Kirk, R.S. y Sawyer, R. (1987) ANALISIS QUIMICO DE ALIMENTOS DE PEARSON. Cía. Editorial Continental, S.A. 1ª edición. México. pp. 237-294.
- Fawcett, P. (1985). PURELY FUNCTIONAL. *Food Technol.* 7 (1): 1-3.
- Foster, J.F. (1967). AMYLOSE AND AMYLOPECTIN PROPERTIES IN SOLUTION. En: R.L. Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. *Academic Press.* New York y Londres. Cap. XV. pp. 350-353.
- Franklin, M. (1984) HANDBOOK OF TROPICAL FOODS CROPS. *Library of Congress Card.* Florida, U.S.A.
- Frazier, W.C. y Westhoff, D.C. (1978) MICROBIOLOGIA DE LOS ALIMENTOS. Editorial Acribia. 3a edición. España. 522 pp.
- García, R., Arriola, M.C., Porres, E. y Rolz, C. (1985) PROCESS FOR BANANA PUREE PRESERVATION AT RURAL LEVEL. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 18: 323-327.
- González Hermosillo, R.D.V. (1989) CONSERVACION DE PULPAS DE PLATANO POR METODOS COMBINADOS. Tesis Profesional. *ULSA.* México, D.F.
- Hernández, M., Chávez, A. y Bourges, H. (1987). VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS MEXICANOS. Tablas de uso práctico. Instituto Nacional de la Nutrición. *Publicaciones de la división de nutrición.* 10ª Edición. México, D. F. pp. 14.
- Instruction Manual ERECTION, MAINTENANCE AND OPERATION OF THE BRABENDER AMYLOGRAPH.

- Instruction Manual. HUNTER ASSOCIATES LABORATORY INC. 11495
Sunset Hills Road. Reston, Virginia, 22090.
- Kerr W. R. (1944). CHEMISTRY AND INDUSTRY OF STARCH. CORN
PRODUCTS REFINING. Argo III. *Academic Press Inc.*
Publishers. 2ª Edición. New York.
- Kim, H.O. y Hill, R.D. (1984). PHYSICAL CHARACTERISTICS OF
WHEAT STARCH GRANULE GELATINIZATION IN THE PRESENCE OF
CYCLOHEPTAMYLOSE. *Cereal Chem.* 61 (5): 432-435.
- Leach, H.W. (1967). GELATINIZATION OF STARCH. En: R.L.
Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH: CHEMISTRY AND
TECHNOLOGY. *Academic Press*. New York y Londres. Cap. XII.
pp. 289-307.
- Loesecke, H.W. (1950) BANANAS, CHEMISTRY, PHISIOLOGY AND
TECHNOLOGY. *Interscience Publishers* Nueva York.
- Mancera Echeverría, R. (1951). EL PLATANO COMO MATERIA PRIMA
EN LA FERMENTACION ALCOHOLICA. Tesis Profesional. *Escuela
Nacional de Ciencias Biologicas del I.P.N.* México, D. F.
pp. 9-12.
- Mc Cabe, L. W. y Smith, C. J. (1981). SECADO DE SOLIDOS. En:
OPERACIONES BASICAS DE INGENIERIA QUIMICA. *Editorial
Reverté, S.A.* 1ª Edición. España. pp. 986, 987.
- Miller, G.L.(1959) USE OF DINITROSALICYLIC ACID REAGENT FOR
DETERMINATION OF REDUCING SUGARS. *Anal. Chem.*, 31: 426-
428.

- Myers, R. R. y Knauss, C. J. (1967) MECHANICAL PROPERTIES OF STARCH PASTES. En: R.L. Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. Academic Press. New York y Londres. Cap. XVI. pp. 393-407.
- Nagy, S. (1980) TROPICAL AND SUBTROPICAL FRUIT. AVI. U.S.A.
- Nelson Tressler, D.K. (1982) FRUIT AND VEGETABLES JUICE PROCESSING TECHNOLOGY. AVI. Westport, Connecticut, U.S.A. pp. 407-441.
- Nyro Atomizer de México, S.A. de C.V. INSTRUCTION MANUAL FOR NYRO ATOMIZER SPRAY DRYING PLANT.
- Ochose, Soule, Dijkman y Wenkburg. (1980) CULTIVO Y MEJORAMIENTO DE PLANTAS TROPICALES Y SUBTROPICALES. Editorial Limusa. México. pp. 433-463.
- Pantastico. (1984) FISILOGIA DE LA POSTRECOLECCION, MANEJO Y UTILIZACION DE FRUTAS Y HORTALIZAS TROPICALES Y SUBTROPICALES. Ed. CECSA. México.
- Pazur, J.H. (1967). ENZYMES IN SYNTHESIS AND HYDROLYSIS. En: R.L. Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. Academic Press. New York y Londres. Cap. VII. pp. 134-137.
- Purse Glove, J.W. (1972) TROPICAL CROOPS MONOCOTYLEDONS. Longman Group. Singapore. pp. 343-383.
- Rodríguez Palacios, F. y García Prado, A. (1989) ADITIVOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. U.N.A.M. México, D.F. pp. 3-19.
- Rodríguez Palacios, F. (1986) OBTENCION DE GLOBINA DE BOVINO; POSIBLES ALTERNATIVAS DE USO COMO ADITIVO ALIMENTARIO. Tesis Profesional. U.N.A.M. México, D.F.

- Sánchez, R. A. (1979). EL CULTIVO DEL PLATANO (Musa sp). PRODUCCION, ECONOMIA Y COMERCIALIZACION. *Econotecnia Agrícola, S.A.R.H.* Subsecretaría de Agricultura y Operaciones. Dirección General de Economía Agrícola. III (12): 9-35.
- SARH. (1991a) Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Estudios, Información y Estadística Sectorial. Sistema ejecutivo de Datos Básicos. Avance a agosto. Septiembre.
- SARH. (1991b) Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Estudios, Información y Estadística Sectorial. Boletín Mensual de Información Básica del Sector Agropecuario y Forestal. Avance a 31 de Marzo. Mayo.
- SAS Institute Inc, (1985). SAS LANGUAGE AND PROCEDURES GUIDES FOR PERSONAL COMPUTERS, Version 6 Edition. U.S.A.
- Simmons, N. W. (1973). LOS PLATANOS. *Editorial Blume*, 1ª Edición. España. pp. 242,243.
- Smith, R. J. (1967). CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF STARCHES. En: R.L. Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. *Academic Press*. New York y Londres. Cap. XXV. pp. 569-635.
- Tamaro, D. (1968) TRATADO DE FRUTICULTURA. Ed. Gustavo Gili, S.A. España.
- Toral, M. T. (1973). FISICOQUIMICA DE SUPERFICIES Y SISTEMAS DISPERSOS. *Ediciones URMO*. 1ª Edición. México, D.F. pp. 62, 140.
- TRITINO KARL FISHER 4F MANUAL. Aquameter Beckman Instructions.

- United Fruit Corporation. (1964) BANANA RIPENING MANUAL
Boston, U.S.A. pp. 9-28
- Wankhede, D.B., Gunjal, D.B., Sawate, H.B., Bhosale, M.B.,
Gahilod, A.T. y Walde, S.G. (1989). STUDIES ON ISOLATION
AND CHARACTERIZATION OF STARCH FROM RAJGEERA GRAINS
(*AMARANTHUS PANICULATUS* LIN.). *Starch/Stärke*. 41 (5):
167-171.
- Whitehouse Charoebekm, S.A. y Picos González, J. (1984).
MANUAL DE TECNICAS PARA EL ANALISIS DE LOS ALIMENTOS.
México, D.F. pp. 1-78
- Winton, A.L. y Winton, K.B.. (1982) STRUCTURE AND COMPOSITION
OF FOODS. Vol. IV. *John Willey and Sons Inc.* New York,
U.S.A. pp. 147-150.
- Wivinis, G.P. y Maywald, E.C. (1967). PHOTOGRAPHS OF STARCHES.
En: R.L. Whistler y E.F. Paschall (Editores) STARCH:
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. *Academic Press*. New York y
Londres. Cap. XXVII. pp. 649-657.
- Woodroff, J. G. y Luh, S. B. (1975). COMERCIAL FRUIT
PROCESSING. *The Avi Publishing Company, Inc.* Wesport
Connecticut, U.S.A. 1ª Edición.