



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
CURSO DE INTERFACULTADES DE POSTGRADO
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



PROPIEDADES QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE TOPOCHO
(*Musa ABB*). USO EN GELES DE MORA (*Rubus glaucus* Benth).

Trabajo de grado de Maestría presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela por la Ing. Shelly Alemán para optar al título de *Magíster Scientiarum* en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Tutora: Dra. Emperatriz Pacheco- Delahaye

Coordinadora de Jurado: Dra. Elevina Pérez

Septiembre, 2009
Caracas, Venezuela

DEDICATORIA

A DIOS y a mi madre Gertrudis María Guevara, por su dedicación y amor.

A ella todos mis triunfos y mis alegrías, a ella mis éxitos y esfuerzo.

A la Dra Emperatriz Pacheco de Delahaye, por su amistad, amor y dedicación

A ellos con todo mi amor y agradecimiento eterno, este logro alcanzado.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposo Yorman Salvador, por su amor, comprensión y apoyo incondicional.

A la Técnico del Laboratorio de Bioquímica de Alimentos Gloria Reina Betancourt de Pinto, quién en todo momento me brindo su apoyo incondicional.

A la MSc. Mariela Rincón; por su valiosa colaboración en haber permitido sin objeción la realización del análisis de perfil amilográfico de las harinas y almidones.

A la Profesora Rosaura Isturiz; por sus consejos y ofrecerme su amistad.

A los señores José Guevara y José Escalona del Laboratorio de Análisis de Productos Agrícolas, por brindar su colaboración, además por su apoyo en todo momento.

Y a todas y cada una de aquellas personas que aquí no se mencionan, pero sé que de una u otra forma colaboraron durante este camino y durante la realización de este trabajo; a todos ustedes, mil gracias.

RESUMEN

Con el fin de diversificar el uso del topocho verde y considerando el alto porcentaje de almidón, se procedió a obtener harina y almidones para evaluar su composición química y propiedades funcionales utilizando almidón de maíz como testigo para poder sugerir su posible uso en la elaboración de alimentos. La composición química de la harina de topocho reveló un contenido de almidón, amilosa, ceniza y fibra dietética de 72,07; 31,69; 2,91 y 7,69% respectivamente. El almidón aislado de la pulpa de topocho fue modificado químicamente mediante un tratamiento alcohólico-alcálico. El contenido de amilosa osciló entre 45,90 y 40,16%. Se estudiaron los parámetros poder de hinchamiento (PH), capacidad de retención de agua (CRA), solubilidad en agua fría (SAF), estabilidad y claridad de los almidones y estabilidad al congelamiento-deshielo. Mostrando los almidones una temperatura de gelatinización iguales o superiores a $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la cual la capacidad de absorción de agua fue de 13 g de agua/ g almidón, la solubilidad fue de 7,53 % y PH fue de 4,56 g agua, para los almidones nativos, comportamiento similar al almidón pregelatinizado, mientras que los almidones granulares estos parámetros fueron mayor encontrándose valores de 16,7 g de agua/ g almidón; 9,77 % y 17,7 g agua, respectivamente. La SAF para los almidones nativos fue de 8,01% y para los almidones granulares fue de 19,50%. En cuanto a la estabilidad y claridad de los almidones nativos y pregelatinizados tuvieron mayor tendencia a la retrogradación en comparación con los almidones granulares. El almidón de maíz mostró una pobre estabilidad al congelamiento-deshielo en comparación con el almidón nativo, pregelatinizado y granular. El estudio de hidrólisis *in vitro* del almidón reveló resistencia a la degradación por la amilasa fúngica. Se observó que la tasa de hidrólisis alcanzada para la harina y el almidón nativo y pregelatinizado fue de 37%, siendo menor para el almidón granular la cual se encontró en 27% al cabo de dos horas, lo que es un indicativo de alimentos de digestión lenta. Con base a estos resultados, la harina y los almidones de topocho verde pueden ser utilizados en la industria alimenticia y específicamente los almidones granulares podrían tener una adecuada aplicación como aditivos para postres congelados y espesantes para sopas debido a la formación de geles espesos, en tal sentido se utilizaron para elaborar geles de mora utilizando como espesante el almidón nativo y granular de topocho verde. En relación a la evaluación de los geles durante diez días de almacenamiento a temperatura de refrigeración ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$), se observó un comportamiento muy similar hasta el día quinto, posterior a este se evidenció sinéresis. Los geles se sometieron a una evaluación sensorial, permitiendo establecer que los geles de mora formulados con los almidones granulares de topocho podrían ser competitivos a nivel comercial con el almidón de maíz.

Palabras clave: *Musa* ABB, propiedades funcionales, almidón, granular, harina, gel.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Portada	i
Aprobación del Jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen	v
Tabla de Contenido	vi
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras	xi
I.- INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
General	3
Específicos	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	4
2.1 Musáceas	4
2.1.1 Composición química	6
2.1.2 Importancia Nutricional	9
2.2 Generalidades del Almidón	10
2.3 Almidón de Musáceas	15
2.3.1 Propiedades Físicas	17
2.3.1.1 Morfología y Tamaño del gránulo	17
2.3.2 Propiedades Funcionales	18
2.3.2.1 Poder de hinchamiento y solubilidad	18
2.3.2.2 Perfil de gelatinización	20
2.5 Almidones modificados	23
2.5.1 Uso de los Almidones Nativos y Modificados	23
2.5.2 Modificaciones Físicas.	24
2.5.3 Modificación Química	27
2.5.3.1 Modificación Química por Conversión o Degradación	27
2.5.3.2 Modificación Química por Derivación o Sustitución.	30
2.5.3.2.1 Almidones Entrecruzados.	30
2.5.3.2.2 Almidones Estabilizados o Eterificados	31
2.5.3.2.3 Almidones Esterificados	32

2.6 Mora de Castilla (<i>Rubus glaucus</i> Benth)	34
2.6.1 Composición Química	35
2.6.2 Importancia Nutricional como antioxidante	35
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1 Materia Prima	37
3.2 Elaboración de la harina de topocho (<i>Musa</i> ABB).	37
3.3 Extracción, purificación y caracterización de almidones nativos y modificados a partir de la harina de topocho.	37
3.4.1 Extracción de almidones nativos	37
3.4.1.1 Obtención de almidones granulares solubles en agua fría.	39
3.5 Caracterización de la harina y de los almidones de topocho.	39
3.5.1 Características fisicoquímicas de la harina y almidones de topocho	39
3.5.1.1 Análisis Físicos	39
3.5.1.2 Composición química de la harina y almidones de topocho	39
3.5.2 Propiedades funcionales de las harinas y de los almidones de topocho	42
3.6 Formulación y elaboración de geles de mora	45
3.6.1 Formulación de los geles	45
3.6.2 Evaluación de los geles de mora	49
3.7 Análisis Sensorial	49
3.8 Diseño de experimentos	50
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4 Rendimiento de la Harina, almidón Nativo, Pregelatinizado y Granular de Topocho	52
4.1 Caracterización Química de la Harina de Topocho (<i>Musa</i> ABB)	53
4.2 Análisis Físicos	59
4.2.1 Color de la Harina de Topocho	59
4.3 Propiedades Reológicas de la Harina de Topocho	61
4.3.1 Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento	61
4.4 Caracterización De Almidones Aislados De Topocho (<i>Musa</i> ABB) Nativos Y Granulares	67
4.4.1 Caracterización Química	67
4.4.2 Propiedades Reológicas	77
4.4.2.1 Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento	77

4.4.2.2 Solubilidad en agua fría	83
4.4.2.3 Capacidad de retención de agua	86
4.4.2.4 Estabilidad y claridad de las pastas	89
4.4.2.5 Estabilidad al congelamiento y deshielo de las pastas	94
4.5 Perfil Amilográfico	97
4.6 Digestibilidad in Vitro del la harina, almidón nativo y granular de topocho	108
4.7 Pruebas de Estabilidad de los geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho (<i>Musa ABB</i>), almidón de maíz, almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C).	112
4.8 Color en los geles de mora espesados con almidón nativo y modificado de topocho (<i>Musa ABB</i>) y almidón de maíz	121
4.9 Evaluación Sensorial de los Geles de Mora espesados con almidón nativo y modificado de topocho (<i>Musa ABB</i>) y almidón de maíz.	125
V. Conclusiones	128
VI.- Referencias Bibliográficas	130
VII. Anexos	178

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Composición química de la harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	7
2	Composición del Almidón de Plátano Verde.	16
3	Formulación de los geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho, y almidón de maíz comercial	47
4	Composición Química de la Harina de Topocho (HA:TO)	54
5	Valores promedio para el índice de luminosidad (L), y de cromaticidad (a y b), obtenidos para la harina de topocho (<i>Musa ABB</i>).	60
6	Composición Química del almidón nativo y granular de topocho y almidón de maíz.	68
7	Solubilidad en agua fría (%) del almidón nativo y granular de topocho	84
8	Capacidad de Retención de Agua del almidón nativo y granular de topocho	87
9	Perfiles de gelatinización, medidos con el viscoamilógrafo Brabender, expresados en unidades Brabender, de las harinas (HA:TO), almidones pregelatinizados (ALN:TO1), almidones nativos (ALN:TO2) y granulares (ALG:TO) de Topocho (<i>Musa ABB</i>).	98
10	Comportamiento de la Acidez expresada en mg ácido Cítrico/100 ml de muestra, durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz	117
11	Valores promedio para el índice de luminosidad (L), y de cromaticidad (a y b), obtenidos para los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho (<i>Musa ABB</i>) y almidón de maíz	122
12	Evaluación sensorial de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Microfotografía del almidón de plátano	17
2	Esquema tecnológico para la obtención de la harina de topocho	38
3	Esquema tecnológico para la obtención de almidón nativo de la harina y pulpa de topocho	40
4	Esquema tecnológico para la obtención de almidón granular de topocho soluble en agua fría.	41
5	Esquema tecnológico para la elaboración de geles de mora	48
6	Planilla de Evaluación sensorial	50
7	Absorción de agua de la harina de topocho	62
8	Solubilidad en agua de la harina de topocho	63
9	Poder de hinchamiento de la harina de topocho	64
10	Absorción de agua de los almidones de topocho	78
11	Solubilidad en agua de los almidones de topocho	79
12	Poder de hinchamiento de almidones de topocho	80
13	Claridad (% T a 650 nm) a temperatura ambiente (A) y 4 °C (B) de almidones modificados y nativos	90
14	Estabilidad al congelamiento y deshielo para el almidón nativo y granular de topocho	95
15	Curva amilográfica obtenida para una suspensión de harina de topocho al 5%.	99
16	Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón pregelatinizado de topocho al 5%.	100
17	Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón nativo de topocho al 5%.	101
18	Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón granular de topocho al 5%.	102
19	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la harina, almidón nativo y granular de topocho	110
20	Comportamiento de ° Brix durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz	114

21	Comportamiento de pH durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.	115
22	Comportamiento de la viscosidad durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz	119

I. INTRODUCCIÓN

El género musáceas representa la cuarta fuente de energía para países en vías de desarrollo después del maíz, arroz y trigo. El cultivo de las musáceas comestibles en América Latina tiene una importancia especial y esto se debe a que no sólo forma parte de la dieta de los habitantes sino también por sus beneficios económicos derivados de esta actividad que genera fuentes de trabajo. En Venezuela el primer renglón frutícola lo constituyen las musáceas comestibles como el plátano, cambur y topocho; esta preferencia se debe a muchos factores, de los cuales el principal es la accesibilidad, caracterizada no sólo por la oferta sino por su bajo costo, siendo alcanzable incluso por aquellos estratos de poblacionales de menores ingresos (Laborem y col., 2001; Pacheco y Testa, 2005; Vuylsteke y col., 1999).

Se ha dado mayor énfasis a la investigación con relación a las propiedades genéticas y agronómicas de los cultivos tropicales, pero poco se ha estudiado sobre darles valor agregado; por ejemplo, la producción de almidones es una de las actividades agroindustriales más importantes en el ámbito mundial, su aplicación no sólo se extiende a la industria de alimentos, sino también a otras industrias tales como textil, papel, etc. En la industria de alimentos el almidón es importante porque ofrece una amplia gama de propiedades funcionales que determinan la calidad del producto final, por lo que la tendencia actual es buscar fuentes alternativas para obtener almidón que presenten mejores características fisicoquímicas y funcionales, para esto el almidón una vez aislado debe ser modificado por métodos físicos o químicos, pues en su forma nativa, no proveen las características funcionales que

demanda la industria alimentaría (Bello y col., 2002; Pérez y col., 1999; Satín, 1999).

Un ejemplo de ello, es el topocho que puede utilizarse como fuentes alternativas para la obtención del almidón, ya que presenta un comportamiento similar al plátano y cambur verde, los cuales poseen un rango de 70 a 86% de almidón del cual el contenido de amilosa oscila entre 38 a 46 %, además contiene de 7 a 9% de fibra dietética, ubicándolos como almidones resistentes, lo que le confiere la capacidad de disminuir la curva postprandial y el índice glucémico (Pacheco y Testa, 2005; Daramola y Osanyinlusi, 2006; Rodríguez y col., 2008; Hernández y col., 2008; Da Mota y col., 2000; González y Pacheco, 2006).

Por lo antes expuesto, en la actualidad la industria alimentaría enfrenta un permanente desafío para formular y desarrollar nuevos productos con estas características con la finalidad de satisfacer las exigencias del público consumidor (Villarreal y col., 2000). Es por ello, que la obtención de almidón de fuentes no convencionales así como su aplicabilidad en sistemas de alimentos a base de frutas que propicien beneficios al consumidor, son de gran importancia en la industria alimentaría, de allí la necesidad de analizar la calidad analítica y sensorial teniendo en cuenta los parámetros establecidos para los atributos más importantes que se presentan en los alimentos como olor, sabor, textura entre otros (Coleman, 1990; Lawless y Michelle, 1993; Chiun y col., 2001; Pérez y Lares, 2004; Hoover, 2001).

En base a los estudios citados, se fijaron los objetivos del trabajo de investigación:

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener y evaluar física, química y funcionalmente el almidón de topocho verde (*Musa ABB*), con fines de su aplicación en la elaboración de geles de mora (*Rubus glaucus* Benth).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ∅ Obtener a partir del topocho (*Musa ABB*), harina, almidón nativo, pregelatinizado y granular.
- ∅ Evaluar física, química y funcionalmente la harina, el almidón nativo, pregelatinizado y granular obtenido del topocho (*Musa ABB*).
- ∅ Estudiar la Digestibilidad *in vitro* de la harina, almidón nativo, pregelatinizado y almidón granular de topocho.
- ∅ Formular y elaborar geles de mora, utilizando almidón nativo y granular de topocho y almidón de maíz.
- ∅ Evaluar fisicoquímica, funcional, y sensorialmente los geles de mora formulados con los almidones de topocho (*Musa ABB*) y almidón de maíz.
- ∅ Estudiar la estabilidad durante diez (10) días de almacenamiento a temperatura de refrigeración (4 °C) de los geles de mora elaborados.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.- MUSÁCEAS.

Las musáceas son originaria de la región indo / malaya. Para el siglo 3 A.C. en el mediterráneo solamente se conocía de la fruta por referencia. Se cree que llegó a Europa en el siglo 10 D.C. y que marinos portugueses la trajeron a Sudamérica desde África occidental o el este de Indonesia. (Rodríguez, 1994).

La familia Musácea, formada por plantas que corresponden al género musa, sección eumusa (INIBAP, 1997), incluye los bananos o cambures, plátanos y topochos. Por su naturaleza herbácea presentan diferentes alternativas de uso de los productos y subproductos a ser consideradas. Aún cuando el consumo de sus frutas puede ser en estado maduro o inmaduro.

En Venezuela, la mayoría de los cultivos de musáceas como el cambur, el plátano y el topocho se manejan en el ámbito de pequeños sembradíos como conucos, y la comercialización es rudimentaria, por lo que no penetran en los canales internacionales de mercado, mostrando un valor comercial bastante escaso. (Rodríguez, 2008).

Desde la época de los grandes viajes de exploración los topocho (ABB) han sido distribuidos ampliamente desde sus regiones de origen al hemisferio occidental; de tal manera, su distribución cosmopolita en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Delgado y col., 2004).

La mayoría de las variedades existentes (diploides, triploides, tetraploides) son descendientes de dos especies salvajes, *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* (Da Mota y col., 2000).

El topocho es un triploide con dominancia *balbisiana* (ABB) (Haddad y Borges, 1971). Es una planta herbácea con rizomas subterráneos cortos con predominante pseudotallo que resulta de la unión de las vainas foliares que a su vez, da origen al área foliar, es cónico de 2,5 hasta 7,5 m de altura terminando en una corona de hojas.

Las producción de musáceas ha aumentado considerablemente en Venezuela según el Ministerio de Agricultura y Tierra para el año 2006 se tuvo una superficie sembrada de plátano de 36.103 Ha, una producción de 443.666 ton con un rendimiento promedio de 12.012 Kg. mientras que para el cambur se tiene 29.777 Ha sembradas, con una producción de 601.412 ton y un rendimiento promedio de 20.197 Kg. no obstante, para la producción de topocho no se reflejaron estadísticas.

Entre los principales estados productores en Venezuela de musáceas se encuentran: Zulia, Aragua, Barinas, Miranda, Yaracuy, Trujillo, Monagas y Sucre. (Ministerio de Agricultura y Tierra, 2006).

2.1.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA.

La composición química de las musáceas cambia dramáticamente durante la maduración del fruto, cuando este se encuentra inmaduro o verde presenta un alto contenido de almidón y un bajo contenido de azúcar, mientras que al estar el fruto maduro ocurre lo contrario (Happi y col., 2007).

El plátano verde está constituido principalmente por almidón, el cual representa el 70% de su peso seco, por pequeñas cantidades de carbohidratos simples como la glucosa, fructosa y sacarosa; proteínas y lípidos en pequeña escala y una importante proporción de vitaminas y minerales además es una fuente importante de polifenoles compuestos que se usa como fuente de antioxidantes (Vergara y col., 2007; Flores y col., 2004; Bello y col., 2006).

Por su parte, Zhang y col. (2005); señalaron que la pulpa del plátano verde presentó 0,24% de azúcares reductores, 1,23% sacarosa, 5,30% de proteínas, 0,78% de grasa, 0,49% de fibra, 62% de almidón mientras que la pulpa del plátano maduro presentó 33,6% de azúcares reductores, 53,2% de sacarosa, 5,52% de proteínas, 0,68% de grasa, 0,30% de fibra, 2,58% de almidón.

La harina de plátano contiene 86% de almidón del cual el 40,7% es de amilosa y 7,6% de fibra dietética y ha sido utilizada en la elaboración de panes y galletas de harina de trigo y de plátano verde, afirmando los autores que es posible diversificar el uso del plátano verde en forma de harina para la industria

de la panificación ya que es posible obtener mejoras nutricionales y sensoriales (Pacheco y Testa, 2005; Pacheco y Maldonado 2000).

Rodríguez y col. (2008); analizaron harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y obtuvieron la composición química que se muestra en el Cuadro 1, donde observaron que los componentes químicos predominantes fueron las fracciones de almidón total de 76,8%, de fibra dietética de 10,4% y de almidón resistente de 30,4% mientras que el contenido de proteína y cenizas se encuentra en menores cantidades. Cabe destacar que la fracción total indigerible lo hace potencialmente utilizable para la obtención de nuevos productos con característica funcionales deseables y bajo en calorías.

Cuadro 1. Composición química de la harina de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.)

	Harina de Plátano
Humedad	6.0 ± 0.1
Proteína ^{a,b}	3.4 ± 0.3
Ceniza ^a	4.4 ± 0.1
Fibra dietética total ^a	10.4 ± 1.4
Almidón total ^a	76.8 ± 1.0
Almidón resistente ^a	30.4 ± 0.8
Fracción insoluble indigestibles ^a	44.0 ± 0.5
Fracción soluble indigestibles ^a	8.9 ± 0.4
Total fracción indigestibles ^a	52.9 ± 0.5

^a Base seca, ^b N x 5.85.

Fuente: Rodríguez y col., (2008).

Del mismo modo, Aguirre y col. (2007) determinaron la composición química de la harina de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) reportando un contenido de humedad de 12,6%, un contenido de lípidos fue 3,23 % y proteínas 4,03 %, valores más altos que los reportados por Navia y col. (1995) que obtuvieron un contenido de lípidos de 0,4 %, y proteínas de 3,2 % y Juárez y col. (2006) en harinas de plátano de la misma variedad. Esta diferencia puede ser debida a que la harina se obtuvo utilizando todo el fruto (pulpa y cáscara) y en el caso de estos autores la harina fue elaborada únicamente a partir de la parte comestible (pulpa) con respecto al contenido de cenizas, el valor obtenido fue similar al reportado por Juárez y col. (2006) en harina de plátano de la misma variedad (4,7 %) y el porcentaje de fibra dietética en la harina de plátano fue 17,14%. mayor que los reportados por otros autores (Da Mota y col., 2000; Juárez y col., 2006) 14,5 y 15% respectivamente.

Otros de los componentes químicos de gran importancia presentes en las musáceas son los ácidos orgánicos y los compuestos fenólicos, los cuales contribuyen a las propiedades o atributos sensoriales. En los plátanos, el ácido orgánico de mayor importancia es el ácido cítrico (8,7 mg/100 g), además posee un contenido de vitamina E de 0,10 mg/100 g y de fenoles totales de 2,31 mg EAG/g. (Robles y col., 2007).

Estos compuestos fenólicos presentes en las musáceas como el plátano, son los responsables de las reacciones de oscurecimiento enzimático catalizadas por la polifenoloxidasas, que ocurren en el fruto debido a la eliminación de la cáscara; por lo tanto los niveles de compuestos fenólicos son proporcionales a su tasa de oscurecimiento (Flores y col., 2004).

2.1.2.- IMPORTANCIA NUTRICIONAL.

Varios estudios han reportado propiedades benéficas a la salud humana debido al consumo del plátano en su estado verde, por su alto contenido de almidón resistente (RS), entre 47-57% (Faisant y col., 1995). Recientemente fue reportado 73,4% de almidón total, 17,5% de RS y 14,5% de fibra dietaria en harina de plátano verde (Juárez y col., 2006).

La harina de plátano representa una fuente alternativa de carbohidratos indigestibles, principalmente RS y fibra dietaria, además de contener polifenoles que actúan como antioxidantes, con un poder reductor y capacidad para quelar los iones ferrosos de 0,881 mmoles Fe/100g (Rodríguez y col., 2008; Araya y col., 2006). Estudios previos en ratas indican que la ingesta de harina de plátano verde (17% de almidón resistente) puede reducir los niveles de colesterol y triglicéridos en sangre (Pacheco y col., 1998).

Delpretti y col. (2004); indica que en medicina infantil el topocho verde ha sido ampliamente utilizado para la alimentación del niño con diarrea, por ser ricos en carbohidratos, se emplean tradicionalmente en sopas y papillas, de esta manera se logra la disminución de la frecuencias de las evacuaciones y mejoría en las consistencia de las heces.

Someya y col. (2002) determinaron la capacidad antioxidantes de las diferentes partes del plátano verde como lo es el fruto y la cáscara, resultando

estos compuestos polifenólicos totales más abundantes en la cáscara (907 mg/ 100 gramos de muestra seca) que en la pulpa (232 mg/100 g en muestra seca), ofreciendo esta musácea efectos protectores contra enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Asimismo, Rodríguez y col. (2008); estudiaron la capacidad antioxidante mediante el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracil), de un polvo rico en fibra preparado por licuefacción de la harina de plátano verde, donde observaron que tiene una capacidad antioxidante del 90% que se mantiene después de 10 minutos de reacción, la cual es mayor que la observada en maíz por Salinas y col. (2006). Concluyen los autores que los compuestos fenólicos de este polvo tiene mayor capacidad antioxidante que el maíz blanco, actuando más rápidamente en los radicales libres, ya que estos constituyen una buena fuente de ácido ascórbico, vitamina B₆ y potasio (Laborem y col., 2001; Jiménez y col., 2001; Machado y col., 2007; Saura y Goñi, 2006).

2.2.- GENERALIDADES DEL ALMIDÓN.

El almidón es un carbohidrato de reserva presente en grandes cantidades de raíces y tubérculos, cereales, semillas y en algunas frutas en estado verde o inmaduro, bajo la fórmula de gránulos parcialmente, cuya forma y tamaño varía según el origen botánico. En los cereales se encuentra principalmente en productos como el maíz, el trigo y el arroz a concentraciones que oscilan de 30 a 80%, en las semillas de algunos frijoles, chicharos o habas se encuentran de 25 a 50%, en las raíces y tubérculos, tales como yuca, papa, batata, y ñame, el almidón representa de 60 a 90%, así como de algunas frutas

tropicales como el plátano que oscila de 50 a 60% y el mango se encuentra de 30 a 50% en peso seco (Luallen, 1985; Ellis y col., 1998; García y Walter, 1998; Bello y Paredes, 1999).

Desde el punto de vista de su estructura química, esta constituido por amilosa y amilopectina, polisacáridos formados por unidades de anhidroglucosa, unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos α (1-4) y/o α (1-6), bajo una estructura semicristalina altamente organizada; además se ha reportado la existencia de un tercer componente conocido como material intermedio. La variación en el contenido de amilosa, amilopectina y del material intermedio, modifica las propiedades físico-químicas y funcionales de los gránulos de almidón, y en consecuencia su utilización en alimentos y aplicaciones industriales (Wang y White, 1994; Bello y col., 2002; Gallant y col., 1997; Jay y col., 1993; Buleón y col., 1998).

La amilosa es lineal, aunque existen investigaciones que indican la presencia de algunas ramificaciones, las cuales por encontrarse en forma espaciada y por ser poco frecuentes, no afectan su comportamiento lineal. Contiene en promedio desde 500 hasta 2000 unidades de D-glucosa repetidas en un número de cadenas que va desde 1 a 20, cada cadena presenta un grado de polimerización promedio de 500 Da, y debido a su carácter esencialmente lineal y a la presencia de enlaces α (1-4), la amilosa es susceptible a formar complejos con moléculas hidrofóbicas como el yodo, los ácidos grasos y los hidrocarburos (Freitas y col., 2004; Roger y Colonna; 1992; Ellis y col., 1998; Sasaki y col., 2002).

El material intermedio se ha descrito como una estructura similar a la amilopectina, pero con ramificaciones más cortas, que depende del contenido de amilosa, aunque varía considerablemente en diversas especies de almidones y además este es mayor en los almidones del tipo amilo (Wang y col., 1993; Wang y White, 1994).

La amilopectina es una molécula ramificada constituida por enlaces α (1-4) y α (1-6), cuyo grado de ramificación es de 20.000 ramas promedio en una molécula o aún más. Este polímero muestra dos tipos de cadenas, entre las que se encuentran las cadenas cortas con 15 DP – grado de polimerización y las cadenas largas con 45 DP (Thomas y Atwell, 1999; Tester y col., 2004; Mali y col., 2004; Singh y col., 2007; Kasemsuwan y Jane, 1994).

La molécula de amilopectina es menos susceptible al proceso de retrogradación, debido a su estructura ramificada, la cual inhibe la reordenación de sus moléculas en la etapa de enfriamiento de una disolución. No obstante, en condiciones de temperatura elevada y a altas concentraciones, la fracción ramificada de amilopectina puede retrogradar (Swinkels, 1987; Karim y col., 2000; Martín y Smith, 1995; Fredriksson y col., 1998; Kong y col., 2008).

La funcionabilidad, forma y tamaño del almidón depende del peso molecular, relación de la amilosa y amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo, además del origen botánico

(Van Der Burgt y col., 1999; Yung y col., 2007; Ellis y col., 1998; Mali y col., 2004; Blazer y col., 2008; Liu y col., 2006).

Los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan las texturas y por sus propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón puede ser menos eficiente debido a que las condiciones del proceso (temperatura, presión y pH) reducen su uso en otras aplicaciones industriales, debido a baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Bello y col., 2002; Liu y col., 2008; Pérez y Pacheco, 2005; Pérez, 1997; Zhang y col., 2005; Yu y col., 1999; Zamudio y col., 2007).

Asegura Asp y col. (1996); que el almidón se consideraba como un carbohidrato disponible, completamente digerido y absorbido en el intestino delgado. Sin embargo, una fracción del almidón resiste la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas sigue su tránsito por el intestino grueso donde es fermentado por la microflora del colón.

Hernández y col. (2008); indican que la digestibilidad de este polisacárido varía extensamente, dicha variación es atribuible a las características químicas, estructurales del almidón y ciertas características del alimento, la forma del arreglo supramolecular del almidón, el grado de cristalinidad y la retrogradación, se han identificado como determinantes importantes del grado de la digestión del almidón y absorción en el intestino delgado.

Es importante señalar que existen varios factores que influyen en la hidrólisis *in vitro* de los almidones, quizás el procesamiento es en parte responsable, ya que cuando no se lleva a cabo la gelatinización completa del almidón ocasiona con ello un aumento en la cristalinidad del almidón, atribuible también a la relación amilosa/amilopectina, a la formación de enlaces glucosídicos diferentes a los enlaces α (1-4) ó α (1-6) y enlaces cruzados, la posible encapsulación de los gránulos de almidón, podría ser responsable de su baja digestibilidad y las posibles interacciones o complejos que puedan existir del almidón con lípidos, proteínas y polifenoles, disminuyen su disponibilidad para las enzimas amilolíticas (Franco y col., 2002; Aparicio y col., 2005; Asp y Bjöck, 1992 ; Zhang y col., 2005)).

Pacheco (2001); asegura que el almidón de musáceas muestra una alta resistencia a la digestión *in vitro* como *in vivo*, la cual puede ser explicada por varios factores como grado y tipo de cristalinidad, contenido de amilosa, morfología del gránulos del almidón y proceso calórico.

De forma general, la digestibilidad *in vitro* del almidón depende de la fuente botánica, del procesamiento de los alimentos y del almacenamiento, además la integridad de la célula vegetal hace más lenta la digestión del almidón, debido a que es una barrera física a la gelatinización, disminuyendo la sensibilidad a la hidrólisis enzimática (Tovar y col., 2005).

2.3.- ALMIDÓN DE MUSÁCEAS.

Dentro de las musáceas, el almidón del plátano, el cual ha sido ampliamente estudiado presenta moléculas de amilosa cuyo peso molecular es 270.000 encontrándose en una proporción del 10 al 11% mientras que la molécula de amilopectina de cadenas laterales cortas, con grado de polimerización que van desde los 15 hasta los 45 DP con un cociente molar 1:6; además las musáceas contienen entre 50 y 60 % del almidón de lo que se conoce como almidón resistente. (Zhang y col., 2005; Nuñez y col., 2004; Bello y col., 2000; Pérez, 1997).

Sin embargo Hernández y col. (2008); encontraron que el almidón de plátano contiene un alto contenido de amilosa que va de 40 a 46%, lo cual concuerda con los valores reportados por Moorthy, (2006); los cuales encontraron que el contenido de amilosa para este almidón es de 40,7%, mientras que Bello y col. (2006); Brouns y col. (2002); reportaron valores de amilosa de 37% (Cuadro 2), el cual es aún superior al de almidones normales de maíz y papa los cuales oscilan entre 27 y 30% datos reportados por Yoshimoto y col. (2000).

En cuanto al contenido de lípidos en los almidones de plátano se observa en el Cuadro 2, estos se encuentran entre 0,42 a 2, 31% (Bello y col., 2006; Brouns y col., 2002; Zamudio y col., 2006; Bello y col., 2002) cuyo valor se encuentra en un rango similar a los reportados por los cereales el cual oscila entre 1 y 2% según lo reportado por Bladwin, (2001). Hecho atribuible a que

durante la extracción de los lípidos se pudieron cuantificar algunos pigmentos (principalmente del tipo carotenoides). Pero estos valores son más similares al de almidones aislados de raíces y tubérculos (Alves y col., 1999; Leonel y col., 2003).

Del mismo modo, el contenido de proteína y cenizas oscilan en rangos de 1,03 a 1,7% y 0,25 a 0,45% respectivamente (Brouns y col., 2002; Zamudio y col., 2006; Bello y col., 2002; Bello y col., 2006); debido a que en el momento de la extracción del almidón se pueden hacer lavados para lograr así un alto grado de pureza, determinado como contenido de almidón total encontrándose este de 87 a 92%. No obstante, Bello y col. (1999) reportaron una pureza del almidón de 99%

Cuadro 2. Composición del Almidón de Plátano Verde.

COMPONENTE	Brouns y col. (2002)	Zamudio y col. (2006)	Bello y col. (2006)	Bello y col. (2002)
Humedad	4,89 ± 0,529	8,3 ± 1,7	4,9 ± 0,50	10,7 ± 0,30
Lípidos ¹	2,31 ± 0,273	1,85 ± 0,11	2,31 ± 0,30	0,42 ± 0,06
Proteína ^{1,2}	1,69± 0,120	1,69± 0,120	1,7± 0,10	1,03± 0,20
Cenizas ¹	0,45± 0,070	0,45± 0,070	0,40± 0,10	0,25± 0,14
Almidón ¹	92,52± 0,69	92,52± 0,69	92,5 ± 0,70	87,6 ± 0,70
Amilosa Aparente ³	37,03± 0,990	ND	37,0± 0,10	ND

¹ Base Seca, ² N x 6,25, ³ % en el Almidón.

2.3.1.- PROPIEDADES FÍSICAS

2.3.1.1.- Morfología y tamaño del gránulo

Los almidones de musáceas, difieren en forma y tamaño según el género y su estado de maduración, el conocimiento de estas diferencias permite determinar su capacidad de absorción de agua y a la susceptibilidad del gránulo frente a la acción de ciertos agentes físicos, químicos y enzimáticos (Texeira, 1998).

Según Pérez, (1997); los gránulos del almidón de plátano son de forma esferoide irregular y las formas alargadas son predominantes (Figura 1). El tamaño de los gránulos varió a partir de 10 a 50 μm resultados similares fue encontrado por Kalenga y col., (1990) para el almidón del plátano.

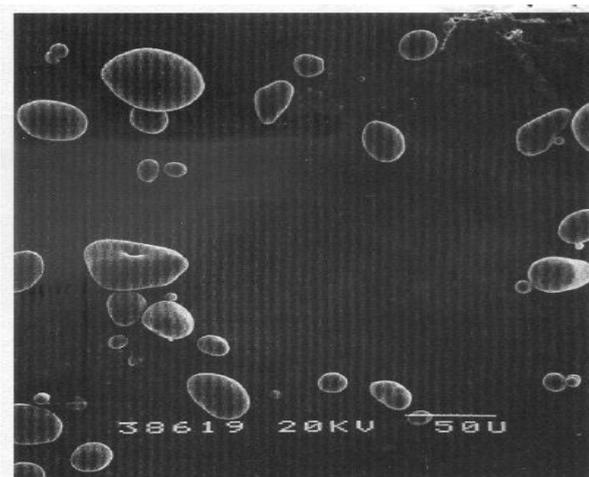


Figura 1. Microfotografía del almidón de plátano

Fuente: Pérez; 1997.

2.3.2- PROPIEDADES FUNCIONALES

2.4.2.1.- Poder de Hinchamiento y Solubilidad.

La capacidad de productos alimenticios que contienen almidón para formar pastas o geles está determinada por la capacidad de retención de agua, el poder de hinchamiento, la solubilidad en agua y la viscosidad, propiedades funcionales que determinan la textura y la calidad de los mismos (Niba y col., 2001; Tester y Morrison, 1990; Been y col., 1987; Defloor y col., 1998; Singh y Singh 2007; Zeng y col., 1997; Freitas y col., 2004).

La capacidad de hinchamiento se ve afectada por las fuerzas de enlaces presentes en el interior del gránulo; por lo tanto, gránulos de almidón altamente asociados con una estructura micelar extensa y frecuentemente enlazada generalmente muestran una gran resistencia al hinchamiento. Aunado a esto, la presencia de lípidos puede inhibir el hinchamiento de los gránulos, debido a la formación de complejos insolubles con la fracción de amilosa (Grebe y Schmidt, 1996; Tester y Morrison, 1990; Yoshimoto y col., 2000).

El poder de hinchamiento y solubilidad en agua está influenciado por la relación amilosa-amilopectina y por las características de éstas en cuanto peso molecular, grado de ramificación, longitud de las ramificaciones, y conformación de moléculas complejas de lípidos, además las proteínas dentro de los gránulos de almidón juega un papel muy importante en el control del

poder de hinchamiento de los mismos (Zhang y col., 2005; Tsai y col., 1997; Karlsson y col., 2007; Sasaki y Matsuki, 1998).

El poder de hinchamiento y solubilidad de almidones de plátano, específicamente de almidones de *Musa paradisiaca* L. fueron determinados por Núñez y col. (2004); Zhang y col., (2005); De la Torre y col., (2008) y Pérez, (1997); quienes encontraron que tanto los valores de absorción de agua como los de solubilidad en agua aumenta a medida que se incrementaba la temperatura, el poder de hinchamiento del almidón de plátano a temperaturas elevadas de 70, 80 y 90 °C, fue superior al valor obtenido para la maicena[®] ya que esta tiene mayor poder de hinchamiento a partir de 60 °C pero menor solubilidad que el almidón de plátano, observándose en el almidón de plátano que a sobrepasar los 70 °C la superficie exhibida es agrietada y ocurre hinchamiento, deformación y erosión debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno intramolecular en áreas amorfas, lo que permite la absorción progresiva e irreversible del agua en el gránulos de almidón. Esta diferencia entre el almidón de plátano y de maicena[®] es atribuible a que los gránulos de almidón de plátano presentan fuerzas de enlaces internas de mayor intensidad durante la cocción que aquellas presentes en la maicena[®], lo cual es indicativo de diferencias leves en las áreas amorfas y cristalinas presentes en ambos gránulos de almidón.

Del mismo modo Aparicio y col. (2006a); observaron que el poder de hinchamiento y solubilidad del almidón de plátano nativo es mayor que el almidón de plátano modificado por entrecruzamiento, mientras que Waliszewski

y col. (2003); reportaron que los almidones de plátano hidroxipropilados presentaron mayor poder de hinchamiento y solubilidad que los entrecruzados y fosfatados; por otro lado Aparicio y col. (2006b) estudiaron el poder de hinchamiento y solubilidad de estos almidones linternizados y en autoclave, encontrando que la depolimerización de las cadenas de almidón, causada por los prolongados tratamientos con ácido conlleva a un incremento de la solubilidad; mientras que el tratamiento en autoclave provoca la pérdida de la estructura granular y sólo hay absorción parcial del agua, mientras durante la hidroxipropilación se produce repulsión entre los grupos modificados cargados positivamente en las moléculas del almidón, disminuyendo las fuerzas intramoleculares, mientras que los enlaces entrecruzados refuerzan la estructura del almidón y por lo tanto tienden a disminuir el hinchamiento de los gránulos de almidón, mientras que la solubilidad, para el almidón nativo fueron bajos en comparación con los almidones modificados en todas las temperaturas medidas (60 a 90 °C), aseguran que el trípolfosfato de sodio utilizado en el entrecruzamiento incrementa la solubilidad, ya que este ocasiona que las moléculas de almidón sean más hidrofílica, por tanto las modificaciones permiten realzar las propiedades funcionales según las necesidades del mercado (Satín, 1999).

2.3.2.2.- PERFIL DE GELATINIZACIÓN.

Según Zhang y col. (2005) la gelatinización del almidón se refiere al colapso del orden en el interior de los gránulos cuando estos son sometidos a calor en presencia de agua, ocasionando cambios irreversibles, entre los que

se encuentra según De la Torre y col. (2008); pérdida de su orden cristalino, aumento en el tamaño de los gránulos, birrefringencia y la solubilización del almidón.

El “Pasting” es el proceso seguido a la gelatinización, el cual involucra la disrupción de los gránulos de almidón y la exudación de los componentes moleculares del mismo, provocando eventualmente la total disolución de los gránulos, el pasting está influenciado por el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, características moleculares del almidón y las condiciones de los procesos térmicos utilizados para inducir la gelatinización (Zhou y col., 1998; Liu y col., 2002). No obstante, a pesar de que la definición de “pasting” está claramente diferenciada del significado de la gelatinización y se describe como un proceso secuencial de la misma, el hinchamiento granular y la pérdida de componentes moleculares son una continuación del estado de gelatinización (Thomas y Atwell, 1999; Singh y Singh, 2007; Ellis y col., 1998).

El hinchamiento inicial probablemente se lleva a cabo en las regiones amorfas del gránulo, donde los polímeros son más susceptibles a la disociación. Cuando la estructura comienza a debilitarse, el gránulo se embebe en agua y se hincha. El sistema gelatinizado bajo ciertas condiciones puede experimentar cambios como la reorganización de las moléculas de almidón y convertirse en una estructura de gel; esta secuencia de eventos se conoce como retrogradación (Huang y Rooney, 2001; Jenkins y Donald, 1998).

La presencia y el desarrollo de la retrogradación depende de la especie botánica, de la proporción de amilosa y amilopectina, del peso molecular de la amilosa y de la longitud de la cadena de amilopectina. Esta se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos granulares insolubles presentes se reasocian después del calentamiento. Eventualmente se forman agregados cristalinos, acompañados por un incremento gradual en la rigidez, una opacidad en la suspensión y la separación de fases entre el polímero y el solvente bajo un fenómeno conocido como sinéresis, el cual ocurre después que los gránulos son gelatinizados por medio de la cocción en la presencia de estructuras tipo geles que afectan las propiedades funcionales y sensoriales de los alimentos ya que durante el almacenamiento en frío, la reorganización de las moléculas de almidón puede resultar en la liberación de agua (sinéresis) (Huang y Rooney, 2001; Zheng y Sosulki, 1998; Karim y col., 2000; Bou Rached y col., 2006; Ishiguro, 2000; Faers y col., 2006; Charoenrein y col., 2008).

La temperatura de gelatinización inicial para el almidón de plátano nativo se encuentra en un rango de 71,6 °C a 78 °C, mientras que la temperatura de gelatinización final oscila entre 90 °C y 95 °C según lo reportaran De la Torre y col. (2008); Nuñez y col. (2004) y Pérez, (1997) al estudiar las propiedades funcionales del almidón de plátano, observaron que es necesario aplicar elevadas temperaturas al almidón de plátano para asegurarse de que ocurra la gelatinización y el pasting, ya que los gránulos de almidón se hinchan muy poco y resisten la fragmentación mecánica, esto explica la ausencia de un pico de la viscosidad y un aumento leve en viscosidad durante cocción. A pesar

que el almidón del plátano muestra una viscosidad mayor, presenta una consistencia más baja que el almidón de maíz, de esta manera resultan beneficioso para aquellos productos en los cuales se desea el pasting retrasado, tales como alimentos conservados, además tiene un alto grado de firmeza por lo cual es potencialmente utilizable en geles, mermeladas, caramelos y salchichas.

Del mismo modo Waliszewski y col. (2003) y Bello y col. (2002) indicaron una temperatura inicial de gelatinización que se encuentra entre 69,5 °C a 73°C y la temperatura de gelatinización final se encuentra entre 83 °C y 90 °C observaron que en los almidones modificados de plátano var. *Valery* y Almidones de plátano var. MACHO, presentó una tendencia a aumentar la absorción de agua aproximadamente del 50% cuando se incrementa la temperatura, siendo mayor que la del almidón nativo, del mismo modo afirman que la solubilidad aumenta al modificar químicamente el almidón debido a la repulsión entre de los grupos modificados de los gránulos de almidón cargados positivamente logrando así disminuir las fuerzas intramoleculares, mejorando la gelatinización, además la modificación de los almidones permite obtener mejor claridad de las pastas, así como estabilidad al congelamiento y deshielo.

2.5- ALMIDONES MODIFICADOS.

2.5.1.- Uso de los almidones nativos y modificados.

Los almidones nativos presentan ciertas desventajas al ser aplicados a nivel industrial, debido que son menos eficientes por su baja resistencia a esfuerzos de corte, propiedades espesantes limitadas, descomposición

térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Amani y col., 2005; Bello y col., 2002; Manrique y col., 2007; Wurzburg, 1986).

Esta marcada tendencia de los almidones nativos a disminuir su viscosidad cuando son sometidos a calentamiento, limita su uso bajo ciertas condiciones del proceso como temperatura, pH, presión. Por tanto se han estudiado estrategias para mejorar sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y que provea las características funcionales que demanda la industria de alimentos, lo cual se ha logrado realizando modificaciones físicas, químicas o genéticas a los almidones (BeMiller, 1997; Bello y col., 2002; Manrique y col., 2007; Wang y White, 1994; Singh y Singh, 2005; Schmitz y col., 2006).

2.5.2.- MODIFICACIONES FÍSICAS.

Estas técnicas de modificación permiten obtener diferentes tipos de almidones modificados de acuerdo a las condiciones específicas de cada alimento. La mayoría de estas modificaciones han surgido por la necesidad de impartir grados de viscosidad, ser resistentes a condiciones ácidas y aumentar la estabilidad en el congelamiento y deshielo, de esta manera se confieren propiedades funcionales que le permite actuar como espesantes-gelificantes en flanes, natillas, puddings, colados y sopas; para la retención de agua en productos cárnicos; recubrimiento en confitería; sustitutos de grasa como en mayonesa, en bebidas instantáneas para mejorar la solubilidad y facilitar la dispersabilidad, gelatina y pastelería, entre otros usos. Los almidones modificados físicamente pueden además ser utilizados en la fabricación de

helados, conservas y salsas espesas como las utilizadas en la cocina china, además en la elaboración de yogures y de conservas vegetales (Shing y col., 2007; Amani y col., 2005; Bello y col., 2002; Núñez y col., 2004; Zhang y col., 2005; Agboola y col., 1991).

Entre los tratamientos físicos más utilizados se encuentran las radiaciones γ , las radiaciones ultra violeta, las presiones, los tratamientos térmicos y térmicos-mecánicos, mientras que en los tratamientos químicos se encuentran dos grandes categorías: la de conversión o degradación y las de derivación o sustitución. (Thomas y Atwell, 1999; Bello y col., 2000; Amani y col., 2005; Martínez y col., 2005; González y Pérez, 2003; Moorthy, 2002; Zhang y col., 1999; Pérez y Pacheco, 2005).

Los tratamientos calóricos húmedos provocan cambios en la estructura cristalina de los almidones, los cuales los hacen más susceptibles a las hidrólisis o modificaciones químicas y enzimáticas. Estos cambios ocurren principalmente a nivel de las regiones amorfas donde se encuentran ubicadas las moléculas de amilosa; por lo tanto, la sensibilidad de los diversos tipos de almidón a estos tratamientos es diferente, y depende principalmente de su contenido en amilosa (Zhang y col., 1999).

Los almidones sometidos a tratamientos con presión de vapor generalmente reducen de forma importante su capacidad de generar viscosidad, la cual se incrementa a medida que aumenta el tiempo de exposición. Del mismo modo las modificaciones por tratamientos térmicos mecánicos como lo es la extrusión logran la pre-gelatinización del almidón utilizando energía térmica y mecánica, bajo condiciones de procesamiento

estrictamente controladas, para adecuar el proceso de gelatinización del almidón, logrando de esta manera aumentar las propiedades funcionales del almidón como la absorción y solubilidad, debido a que durante este proceso la estructura granular se pierde, los cristales nativos se funden y sus componentes (amilosa y amilopectina) son parcialmente desordenados dando como resultado un estado amorfo que indica la gelatinización casi completa del almidón, sin embargo durante el enfriamiento se pueden formar estructuras que resistan la hidrólisis por las enzimas digestivas (Pólit, 1996; Colonna y col., 1989; Moorthy, 2002; Vasanthan y col., 2001; Unlu y Faller, 1998).

Cabe destacar que, el grado de gelatinización durante este proceso de extrusión está determinado por la acción combinada de presión, temperatura y esfuerzo de corte, además las transformaciones que sufre el almidón dentro del extrusor se pueden analizar a nivel granular, cristalino o molecular (Wen y col., 1990).

Manrique y col. (2007) para determinar las propiedades moleculares, funcionales y nutricionales de almidones de fuentes no convencionales como el plátano y el mango, realizaron a partir de estos almidones pre-gelatinizados (AP), haciendo uso de un extrusor de doble tornillo con diferentes condiciones, observaron que el proceso de extrusión desorganizó toda la estructura cristalina de los almidones, resultado similar fue reportado por Bello y col. (2006), sin embargo al evaluar las propiedades y las condiciones de formación de almidón resistente (AR), a partir de almidones pregelatinizados de plátano y mango verde en un extrusor de un sólo tornillo, encontraron los autores antes mencionados que los AP del almidón de plátano mostraron mayor contenido

de almidón resistente mientras que el almidón de mango presentó mayor índice de absorción y solubilidad de agua.

2.5.3.- MODIFICACIÓN QUÍMICA

La modificación química generalmente se realiza en un medio acuoso. Una suspensión de almidón, usualmente de 30 a 40% de sólidos, se trata con el reactivo químico bajo condiciones apropiadas de agitación, temperatura y pH. Cuando la reacción se completa, el almidón se lleva al pH deseado con un agente neutralizante, se purifica por subsecuentes lavados con agua y se seca, hasta obtener el almidón deshidratado (Thomas y Atwell, 1999).

Light (1990), Wurzburg (1995) y Thomas y Atwell (1999), clasificaron las técnicas de modificación química en dos grandes categorías: las de conversión o degradación y las de derivación o sustitución.

2.5.3.1. Modificación química por conversión o degradación.

Esta modificación consiste en la degradación de las moléculas de almidón a fin de disminuir la viscosidad de la suspensión. La degradación incluye la escisión de algunos enlaces glucosídicos, y dependiendo del método utilizado para la modificación, pueden incluirse alteraciones químicas, tales como la oxidación de algunos de los grupos hidroxilo, aldehídos, cetonas y carbonilos. Esta modificación tiene como objetivo, permitir el uso de elevadas concentraciones de almidón, incrementar la solubilidad en agua fría, controlar la fuerza del gel y otorgar estabilidad a las suspensiones de almidón (Wang y col., 2003).

Los métodos más comunes de conversión utilizados en la industria de alimentos incluyen la hidrólisis, la oxidación, dextrinización y la conversión enzimática; éstos modifican las propiedades morfológicas, cristalinas y de gelatinización, afectando las temperaturas de transición y las entalpías de gelatinización, así como las propiedades viscoelásticas del almidón modificado (Olayide, 2004 y Shujun y col., 2007; Pérez y Pacheco, 2005; Wurzburg, 1986).

Entre los métodos mencionados anteriormente, la modificación ácida es una de las más utilizadas en la industria de obtención de almidones modificados destinados a la industria de alimentos, papelera y textil; entre ellos se pueden mencionar los trabajos de Aparicio y col. (2007) para la obtención de almidón de plátano modificado por hidrólisis ácida. Jayakody y col. (2007) evaluaron los efectos de la hidrólisis ácida en almidones de *D. esculenta* y *D. alata* y Atichokudomchai y col. (2000), al evaluar el efecto de la modificación ácida sobre almidones de yuca.

El procedimiento tradicional para obtener almidones por modificación ácida consiste, en términos generales, en tratar una suspensión concentrada de almidón a una temperatura menor que la temperatura de gelatinización con un ácido mineral generalmente HCL ó H_2SO_4 , durante cierto período de tiempo, de esta manera se generan reacciones del tipo reversión (ocurre en las primeras etapas e involucra eliminación de agua) y transglucosidación (ocurre en las etapas finales y no involucra la salida de agua), estas ocurren en las regiones amorfas de los gránulos permaneciendo las cristalinas relativamente intactas, produciendo cadenas lineales o escasamente ramificadas, las cuales favorecen la retrogradación y a su vez la formación de almidón resistente

(Paredes y col., 1994; Pérez, 1996; Wurzburg, 1986; Wang y col., 2003; Shin y col., 2004). (Ver Anexo 1).

Otra de estas modificaciones es la de almidones granulares solubles en agua fría, los cuales se están desarrollando en la actualidad para poder extender el uso de los almidones en aplicaciones industriales, ya que estos confieren propiedades funcionales importantes en muchos alimentos instantáneos, proporcionándoles una mayor viscosidad, textura suave y propiedades similares a la de los almidones pregelatinizados (Chen y Jane, 1994a). Estos almidones se pueden producir por un tratamiento del almidón en una solución acuosa de alcohol, con alta temperatura y presión, mediante un proceso de secado por aspersion en un sistema de doble boquilla y por un tratamiento alcohólico-alkalino, tal como lo reportó Bello y col. (2002) que obtuvieron almidones de plátano modificados mediante un tratamiento alcohólico-alkalino, igual que Chen y Jane, (1994b) en maíz.

2.5.3.2.- Modificación química por derivación o sustitución.

Consiste en incorporar grupos químicos a las unidades de glucosa, los cuales van a sustituir a los grupos hidroxilo. Las propiedades del almidón derivado dependen de la naturaleza de la derivación y del grado de sustitución. Cuando el grado de sustitución es bajo (hasta 0,1 moles de grupos incorporados por mol de glucosa), los grupos sustituyentes rompen la linealidad de la molécula donde son incorporados, disminuyendo su tendencia a asociarse, previniendo la retrogradación. Sin embargo, elevados niveles de

sustitución (desde 0,8 hasta 1 moles) hacen a los almidones solubles en agua fría (Wurzburg, 1986).

La modificación química por derivación incluye el entrecruzamiento (“crosslinked”), la estabilización y la incorporación de grupos funcionales (Light, 1990).

2.5.3.2.1.- Almidones entrecruzados.

El entrecruzamiento es un proceso que consiste en suspender el almidón en un medio acuoso y alcalino, con un agente químico polifuncional, el cual puede reaccionar con dos o más grupos hidroxilos presentes en la molécula de almidón. El entrecruzamiento permite controlar el grado de hinchamiento granular y proporciona almidones resistentes a altas temperaturas, agitación constante y condiciones extremas de acidez, así como mejorar las propiedades funcionales y la estabilidad de las pasta de almidón, ya que tiene como objetivo reforzar los puentes de hidrógeno responsables de la integridad del gránulo, con puentes químicos enlazados a los grupos hidroxilo de otras moléculas de almidón adyacentes; así minimiza y evita la ruptura de los gránulos de almidón por efecto del calentamiento, permitiendo que los geles formados tengan una mejor cohesividad y una buena textura (Wurzburg, 1986; Thomas y Atwell, 1999; Woo y Seib, 2002).

Los agentes químicos más utilizados para producir entrecruzamiento son el oxiclорuro de fósforo, el trimetafosfato de sodio y las mezclas de anhídrido acético y adipato. La temperatura de reacción se encuentra entre los 25 y 30°C,

mientras que el tiempo requerido para el proceso de entrecruzamiento puede variar desde 24 hasta 30 horas (Light, 1990; Wurzburg, 1995). (Ver anexo 2)

2.5.3.2.2.- Almidones estabilizados o eterificados.

La eterificación es uno de los tipos de derivación más utilizadas, y ésta consiste en hacer reaccionar una suspensión de almidón al 30 a 40%, con óxido de etileno o de propileno, en presencia de hidróxidos alcalinos o alcalinotérreos, lo cual conduce a la formación de los derivados hidroxietil e hidroxipropil, respectivamente (Perera y col., 1997).

La introducción de grupos hidroalquilo, en combinación con reacciones de entrecruzamiento, mejora la capacidad de hinchamiento y la solubilidad, así como la capacidad de retención de agua, disminuye la temperatura de gelatinización e incrementa la estabilidad frente a la congelación y la descongelación de soluciones viscosas (Pal y col., 2002; Thomas y Atwell, 1999).

Para evaluar el efecto de este tipo de modificación sobre las propiedades funcionales de los almidones de plátano, Waliszewski y col. (2003) determinaron el efecto de la hidroxipropilación y comprobaron que los almidones desarrollaban elevados valores de viscosidad, que se mantenían estables durante la fase de calentamiento, debido a que la sustitución de grupos funcionales provocó una reducción de las fuerzas asociativas intragranulares, resultado similar fue encontrado por Perera y Hoover, (1999) al

estudiar el efecto de la hidroxipropilación sobre la retrogradación de almidones de papa. (Ver anexo 3)

2.5.3.2.3.- Almidones esterificados

La esterificación es otra de las técnicas de modificación de almidones por sustitución, en la cual se obtienen los monofosfatos de almidón, principalmente por calentamiento en seco del almidón con ortofosfatos o tripolifosfatos alcalinos a 120-175 °C, en presencia de ortofosfato se produce almidón fosfato monoéster y con tripolifosfato de sodio, la reacción ocurre en condiciones alcalinas (Rutenberg y Solarek, 1994; Liu y col., 1999). (ver anexo 4).

La fosfatación es uno de los métodos de modificación química más utilizado, ya que a través de este método se produce una repulsión entre las cadenas adyacentes del almidón, causada por la introducción de grupos fosfato con carga negativa, los cuales provocan una reducción en el número de asociaciones entre las cadenas de almidón y un aumento en la capacidad de hidratación, estabilidad frente a la congelación, permitiendo ser utilizados como agentes espesantes y estabilizantes en alimentos (Liu y col., 1999; Lim y Seib, 1993).

Sitohy y col. (2000) al preparar almidones fosfatados a diferentes grados de sustitución, a partir de almidones de maíz, arroz y papa, determinaron que los valores de solubilidad, poder de hinchamiento y viscosidad se incrementaban considerablemente a bajos niveles de sustitución, mientras que dichas propiedades disminuyeron gradualmente al incrementar el grado de

sustitución, igual resultado fue reportado por Waliszewski y col. (2003) al determinar el efecto de la fosfatación en las propiedades reológicas de almidones de plátano.

Estos almidones modificados han sido ampliamente utilizados en la formulación de alimentos, ya que mejoran las propiedades funcionales y la estabilidad de los mismos, actualmente la utilización de almidones modificados de musáceas esta en auge por tener a el almidón como componente principal del fruto inmadura, además al aplicarle la modificación química permite obtener geles con una mayor viscosidad, textura suave, estables al tratamiento térmico y a temperatura de refrigeración.

2.6.- Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth).

La mora (*Rubus glaucus* Benth) es originaria de las zonas altas tropicales de América principalmente en Colombia, Ecuador, Panamá, Guatemala, Honduras, México y El Salvador (Montoya y col., 2005).

En la actualidad la industria alimenticia enfrenta permanentes desafíos con el fin de producir nuevos productos que generen beneficios a la salud, por lo que diariamente se encuentra en la búsqueda de matrices alimenticias con estas característica, el uso de frutos como la mora es un ejemplo de ello, debido a su contenido de antioxidantes y vitaminas, lo cual lo hace atractivo para su uso.

El género *Rubus* L. es uno de los más grandes y de amplia distribución geográfica, dentro de la familia Rosaceae de las plantas dicotiledóneas; es un género de gran diversidad con alrededor de 250 especies y unas 3.000 formas apomícticas; su taxonomía es relativamente compleja. El género es cosmopolita; en Colombia, como en los demás países andinos, se encuentra en las zonas frías y frío-moderadas, en alturas de los Andes comprendidas entre los 1.500 y 3.200 msnm; numerosas especies son aprovechadas para el consumo humano en diferentes formas, siendo *R. glaucus* Benth., conocida como “Mora de Castilla”, la de mayor uso agroindustrial en varias localidades (Salazar y col., 2007).

Los estados Venezolanos de mayor producción de mora son: Táchira, Mérida, Trujillo y Aragua (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra, 2006).

2.6.1.- Composición Química:

Estas frutas son de bajo valor calórico por su escaso aporte de carbohidratos, son ricas en vitamina C y en general, las bayas silvestres son buena fuente de fibra soluble como la pectina, de potasio, hierro y calcio (estos dos últimos de peor aprovechamiento que los procedentes de alimentos de origen animal), taninos de acción astringente y de diversos ácidos orgánicos. Sin embargo, lo que en realidad caracteriza a estas frutas es su abundancia de pigmentos naturales (antocianos y carotenoides) de acción antioxidante (Moreno y col., 2002; García y col., 1998; Deighton y col., 2000).

Señalan González y Gómez (2000) que la composición química de la mora por 100 g es de 57% de agua; 13,5% de carbohidratos; 1,02% de proteínas; 4,2% de fibra cruda; 17,6 mg de Ca; 0,9 mg de Fe; 177 mg de K; 27 mg de Mg; 0,04 de niacina; 0,02 mg de tiamina; 0,1 5 mg de vitamina, 0,04 mg de riboflavina y 15 mg de vitamina C.

2.6.2.- Importancia Nutricional como Antioxidantes:

En la alimentación humana, este tipo de frutas constituyen una de las fuentes más importantes de compuestos fenólicos de origen vegetal, como las antocianinas, desde el punto de vista bioquímico estos se caracterizan por poseer una elevada actividad antioxidante, reduciendo la concentración de radicales libres, y en algunos casos logran establecer grupos de quelación con iones metálicos (Kinsella y col., 1993; Martínez y col., 2000).

La mora en Venezuela se comercializan para consumo directo, es rica en antocianinas, que le dan el color característico y además contienen en menor proporción taninos, ácidos fenólicos y flavonas (Moreno y col., 2002).

Esta propiedad antioxidante pueden dar lugar a efectos fisiológicos muy diversos; reducción del riesgo de trombosis, de enfermedades coronarias además de minimizar los riesgos de cáncer, así como efectos antiinflamatorios y acción antibacteriana. Estas frutas contienen, además de los antocianos y

carotenoides, otros antioxidantes como la vitamina C (Deighton y col., 2000; Kalt y col., 1999; Wang y Jiao, 2000).

La mora tiene una gran capacidad antioxidante respecto a otras frutas frescas debido a su alto contenido de antiocianinas, tal como lo demostrara Kalt y col. (1999) al determinar la capacidad antioxidante midiendo la capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC) de fresas, frambuesas y moras, encontraron que la capacidad antioxidante de la mora era el triple en comparación con la fresa y la frambuesa, similar resultado fue encontrado por Araya y col. (2004).

Del mismo modo, la fibra soluble es un componente muy abundante en la mora, por lo que su poder de gelificación que ésta le confiere, es de gran importancia en alimentos como mermeladas, colados, jugos entre otros productos, además su consumo habitual puede resultar un remedio para tratar el estreñimiento y la atonía intestinal (Sousa y col., 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1.- Materia prima.

Los topochos verdes (*Musa ABB*), fueron adquiridos en cinco lotes de 10 Kg cada uno, en el Mercado Municipal de Maracay, Estado Aragua, de un mismo proveedor, con el fin de disminuir la posibilidad de mezclas varietales. Al momento de adquirirlos, se verificó que cada uno de los lotes de topochos no mostrará signos de daño o deterioro, además fue adquirido el almidón de maíz comercial: INDELMA. La mora fue adquirida en la Colonia Tovar Municipio Tovar Estado Aragua.

El procesamiento de la materia prima y los diferentes análisis físicos, químicos, funcionales y sensoriales fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Bioquímica de Alimentos “Dra. Emperatriz Pacheco-Delahaye” de la Facultad de Agronomía de la UCV y en el laboratorio de Frutas y Hortalizas del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias de la UCV.

3.2.- Elaboración de la harina de topochos (*Musa ABB*).

La harina de topochos se obtuvo de acuerdo a la metodología descrita por Pacheco (2001). (Figura 2)

3.3.- Extracción, purificación y caracterización de almidones nativos y granulares a partir de la harina de topochos.

3.3.1.- Extracción de almidones nativos:

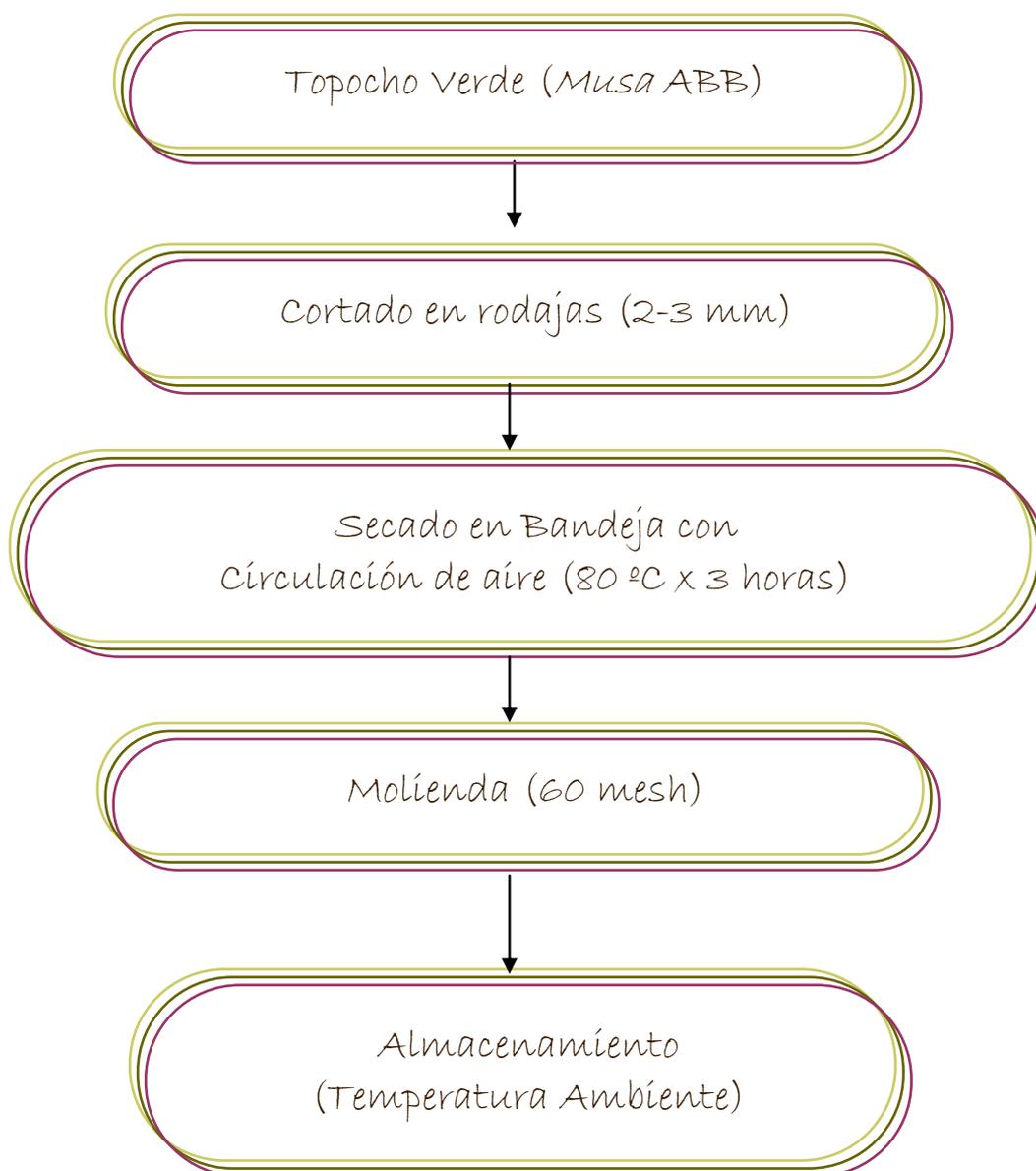


Figura 2. Esquema tecnológico para la obtención de la harina de topocho.

(Pacheco, 2001)

El aislamiento y purificación de los almidones nativos y pregelatinizados de topocho según metodología descrita por Pérez y col. (2005). (Figura 3)

3.4.1.2.- Obtención de almidones granulares:

Para la obtención de los almidones granulares de topocho solubles en agua fría se siguió la metodología descrita por Chen y Jane (1994b) (Figura 4).

3.5.- Caracterización de la harina y de los almidones de topocho.

3.5.1.- Características fisicoquímicas de la harina y almidones de topocho

3.5.1.1.- Análisis Fisicoquímicos:

- ∅ pH: método N° 943.02 de la AOAC (2000).
- ∅ Acidez Titulable: método 975.11 de la AOAC (2000).
- ∅ Color: según metodología descrita en el Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995).
- ∅ Viscosidad: AACC (2000).

3.5.1.2.- Composición química de la harina y almidones de topocho:

Los métodos oficiales de la A.O.A.C (2000) fueron aplicados para la determinación de humedad, cenizas, grasa, proteína (N x 6,25), fibra dietética total según Prosky y col. (1984), citado en el AOAC (1997) y almidón por el método modificado de Mc Cready y col. (1950). Todos los análisis se realizaron por triplicado y reportados en base seca.

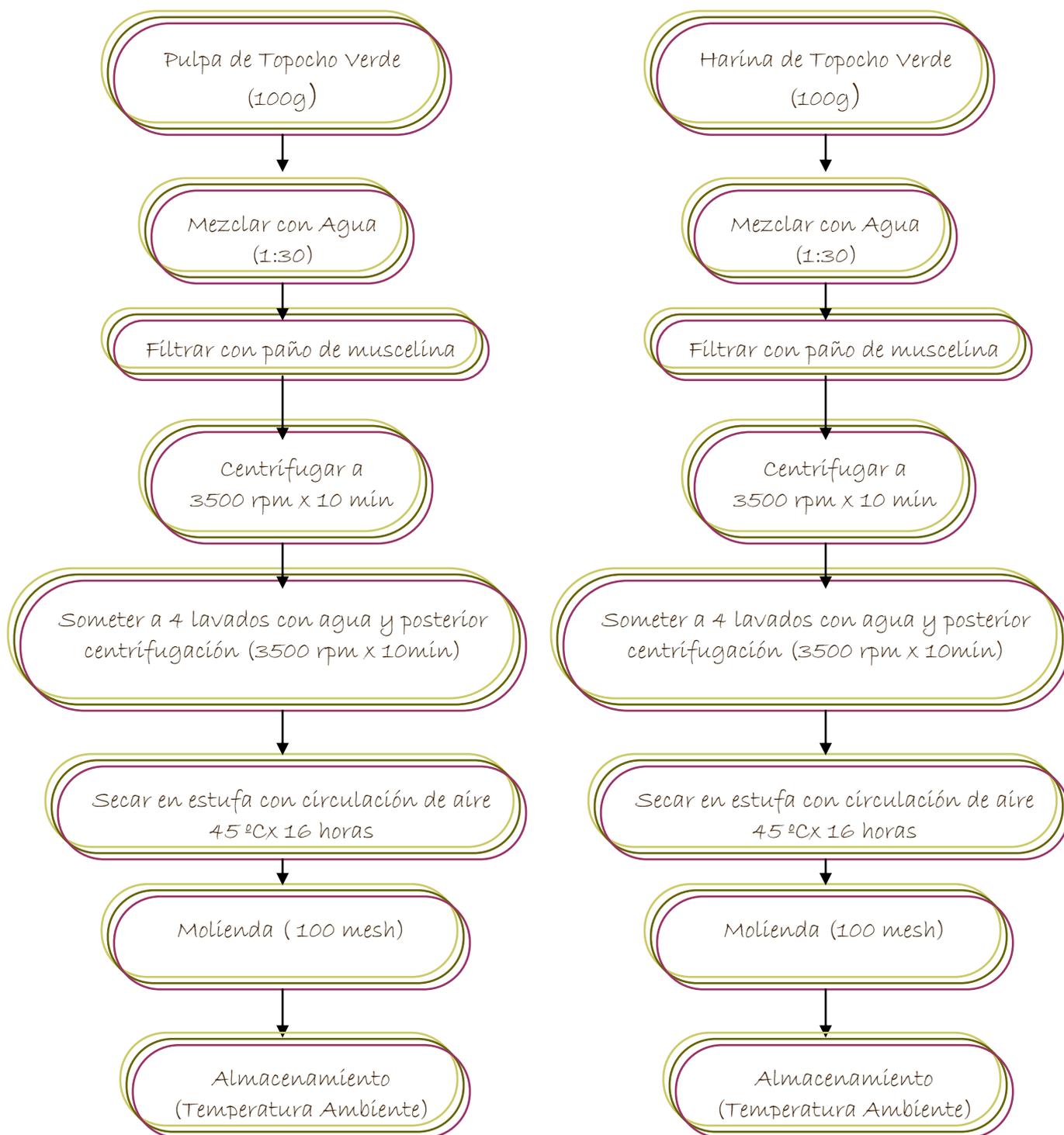


Figura 3. Esquema tecnológico para la obtención de almidón nativo y pregelatinizado de topocho verde.

(Pérez y col., 2005).

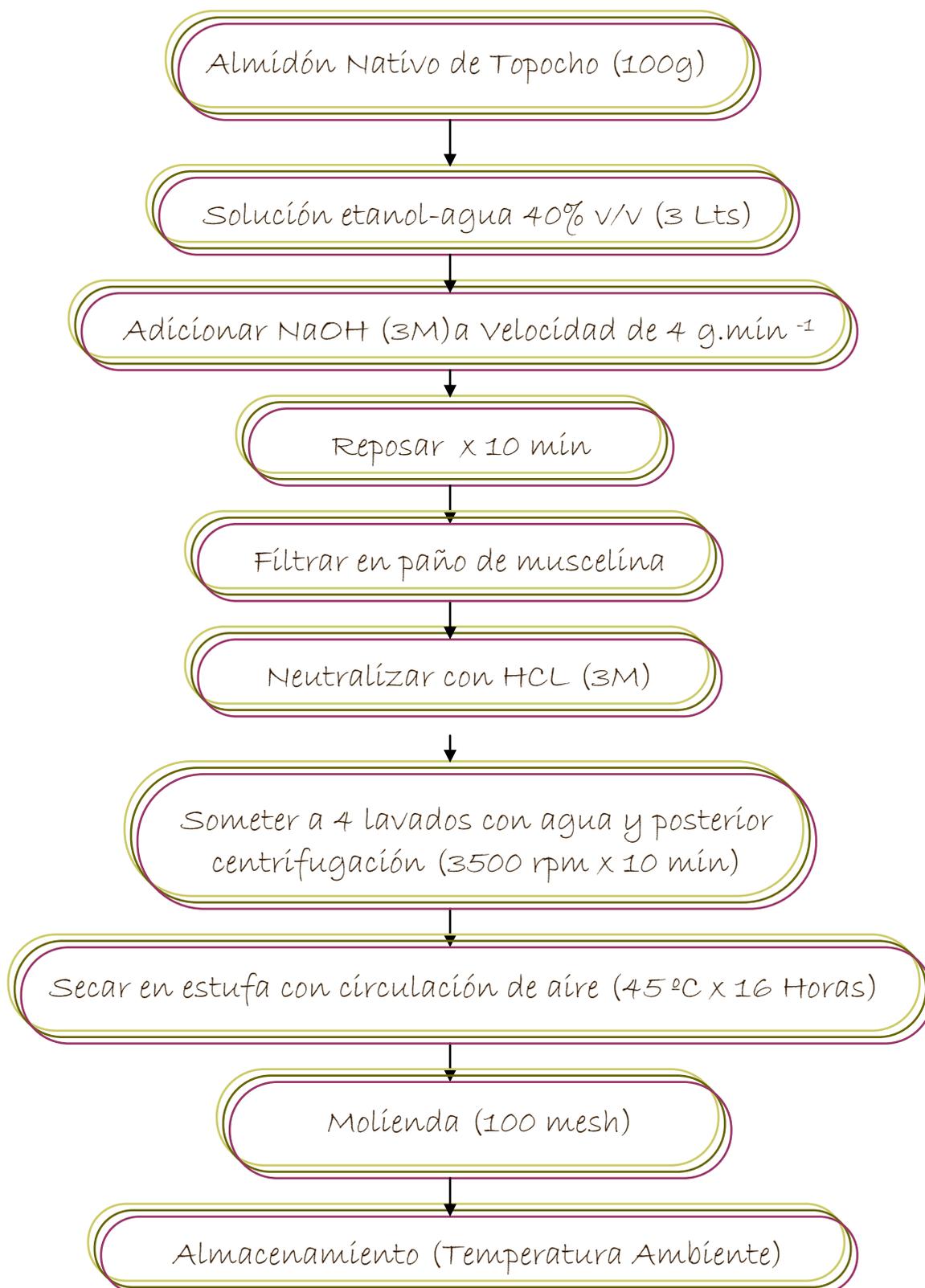


Figura 4. Esquema tecnológico para la obtención de almidón granular de topocho soluble en agua fría.

(Chen y Jane, 1994b).

- ∅ Amilosa: Juliano (1971).
- ∅ Amilopectina: por diferencia de los valores de amilosa.
- ∅ Digestibilidad *in vitro* del Almidón: Holm y col. (1985), utilizando la enzima α -amilasa fungica.

3.5.2.- Propiedades funcionales de las harinas y de los almidones de topocho:

Se evaluaron en las harinas y almidones de topocho sus propiedades funcionales, mediante los siguientes parámetros:

- ∅ Amilograma: Se realizó en la Facultad de Farmacia de la Universidad Central de Venezuela ubicada en la ciudad de Caracas, Distrito Capital. Donde se prepararon suspensiones al 5% y utilizando el Micro Visco Amylo-Graph® Brabender, Duisburg, Alemania, se calentó la suspensión desde 30°C hasta 95°C a 7,5°C/min, se mantuvo a 95°C por 5 min, y se enfrió hasta 50°C a 7,5°C/min. manteniendo durante un minuto ésta temperatura. Los parámetros a considerar fueron temperatura de gelatinización, viscosidad inicial, viscosidad máxima, viscosidad al final del período de calentamiento y viscosidad al final del período de enfriamiento. Las características funcionales como estabilidad, asentamiento y consistencia expresadas en unidades Brabender.

∅ Poder de hinchamiento, absorción de agua y solubilidad en agua: según metodología de Anderson (1982), en un rango de temperatura desde 60 hasta 95 °C.

∅ Solubilidad en agua fría: según metodología descrita por Eastman y Moore (1984), modificada por Bello y col. (2002). A 100ml de agua destilada se le adicionará 1 g. de almidón en base seca, mezclándose a baja velocidad en una licuadora. Después de agregar toda la muestra de almidón, el equipo se operó a alta velocidad por 2 minutos. La suspensión de almidón se vació en recipientes de 250 ml, para centrifugar a 3500 rpm por 15 minutos. Una alícuota de 25 ml del sobrenadante se transfirió a una cápsula de Petri previamente pesada, y se secó en estufa a 110 °C por 4 horas. Por diferencia de peso se calculó la solubilidad en agua fría, expresada en porcentaje.

∅ Estabilidad y claridad de las pastas: Se midió la estabilidad y la claridad de las pastas de almidón a temperatura ambiente y a 4 °C según metodología empleada por Bello y col. (2002). Para ello se suspendieron 0.2 g de una muestra de almidón en 5 mL de agua utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales fueron colocados en un baño de maría a ebullición por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min. Después de enfriar a la temperatura ambiente, se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm utilizando agua como testigo. Tres de las muestras se almacenaron a temperatura ambiente y a 4 °C, midiendo el % T a las 0, 24, 48 y 72 h.

∅ Estabilidad al congelamiento-deshielo: Se sometieron suspensiones de almidón de topocho a 5% (p/v) a un ciclo de congelamiento (-20 ° C, 18 h) y posterior deshielo (temperatura ambiente, 6 h). Al término, las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm durante 10 min. Se midió el porcentaje de agua separada después de someter al almidón a este ciclo. Según metodología descrita por Bello y col. (2002).

∅ Viscosidad Aparente: Se prepararon pastas de almidón a 5% (p/v) en agua, colocando éstas en un baño con agua hirviendo durante 15 min y posteriormente enfriándolas a temperatura ambiente. La viscosidad aparente de las pastas frías se midió a 25 °C en un viscosímetro Brookfield (model RVF, Stoughton, MA) a cuatro velocidades de deformación (2, 4, 10 y 20 min⁻¹) utilizando la aguja No. 4. Finalmente se observó la estabilidad de la pasta a una velocidad de 20 min⁻¹ en los minutos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20 y 30. Según metodología empleada por Bello y col., (2002).

∅ Capacidad de retención de agua: fue determinada utilizando la metodología descrita por Bryant y Hamaker (1997). Se adicionó agua a temperatura ambiente a muestras de almidón, las cuales se calentaron a 70, 80 y 90 °C por 30 min, con agitación cada 5 min. Las suspensiones se centrifugaron a 5000 rpm durante 10 min. El sobrenadante se decantó y se midió el volumen.

3.6.- Formulación y elaboración de geles de mora:

Para la elaboración de los geles se ensayaron previamente varias formulaciones, en las cuales se utilizaron como base el almidón nativo, granular de topocho y almidón de maíz comercial. La selección del almidón de topocho para estas formulaciones se basa en sus propiedades funcionales ya que, al modificar este tipo de almidón permite obtener geles con una elevada viscosidad, textura suave, mayor estabilidad al congelamiento-deshielo, cabe destacar que el almidón pregelatinizado no se utilizó en dichas formulaciones por presentar un comportamiento similar al almidón nativo de topocho.

3.6.1.- Formulación de los Geles

Previamente a su elaboración, se realizaron varias pruebas preliminares a pequeña escala con diferentes proporciones de los ingredientes a utilizar, con el fin de establecer los porcentajes óptimos de almidón nativo y granular de topocho, así como del almidón de maíz comercial, además de conocer la proporción pulpa: agua y azúcar para obtener el jugo de mora, así como el contenido de carboximetilcelulosa (CMC) y lograr de esta manera la producción de los geles de mora espesados con almidón nativo y granular con la finalidad obtener un producto de buena aceptación comercial, en cuanto color, olor, sabor,

textura y apariencia global, en base a una evaluación sensorial con un panel de expertos. Luego, se procedió a pesar exactamente las cantidades de cada uno de los ingredientes a emplearse en la formulación final.

Las formulaciones finales se muestran a continuación y se puede observar en el Cuadro 3., las proporciones utilizadas de cada ingrediente en la elaboración de los geles de mora.

Los geles de mora sólo se diferenciaron por el agregado de carboximetilcelulosa (CMC) (según Delmonte y col., 2006, el CMC es un hicrocoloide que al hidratarse se disgrega y se disuelve produciendo un efecto gelificante, se utilizó con la finalidad de reducir significativamente la sinéresis durante el almacenamiento) y del almidón añadido, es decir, nativo y granular de topocho, así como el almidón de maíz comercial. Una vez establecidas las formulaciones se procedió a la pasteurización del jugo a 97,5 °C por 10 min. Con la finalidad de inhibir el sistema enzimático y prevenir daños durante el procesamiento. Luego dependiendo de la formulación se mezclaron los ingredientes y fueron sometidos a cocción (95 °C x 15 min.) para la formación del gel, posteriormente para el almacenamiento en refrigeración (4 °C), se usaron envases de plástico donde se conservaron para su posterior análisis.

Los geles fueron elaborados según el esquema tecnológico (Figura 5).

Cuadro 3. Formulación final de los geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho, y almidón de maíz comercial.

INGREDIENTES (%)	AN: TO1/CMC	AN: TO1/SCMC	ALG: TO/CMC	ALG: TO/SCMC	AL:M
Pulpa:H₂O	30:70	30:70	30:70	30:70	30:70
Azúcar	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Almidón Nativo	0,05	0,05	–	–	–
Almidón Granular	–	–	0,05	0,05	–
Almidón de maíz	–	–	–	–	0,05
CMC	0,1	–	0,1	–	–

AN:TO1/CMC Geles de mora espesados con almidón nativo de topocho y CMC

AN:TO1/SCMC Geles de mora espesados con almidón nativo de topocho sin CMC

ALG:TO/CMC Geles de mora espesados con almidón granular de topocho y CMC

ALG:TO/SCMC Geles de mora espesados con almidón granular de topocho sin CMC

AL:M Geles de mora espesados con almidón de maíz comercial



Figura 5. Esquema tecnológico para la elaboración de gels de mora.

3.6.2.- Evaluación de los geles de mora:

Con la finalidad de determinar el comportamiento de los geles de mora durante 10 días de almacenamiento en refrigeración (4 °C), se evaluaron los siguientes análisis fisicoquímicos:

∅ pH: métodos N° 943.02 de la AOAC (2000). Acidez Titulable: y 975.11 de la AOAC (2000).

∅ Color: según metodología descrita en el Hunter Lab Manual (2001) y Giese (1995).

∅ Viscosidad: AACC (2000).

∅ ° Brix: AACC (2000).

3.7.- Análisis sensorial:

Para evidenciar la calidad sensorial de los geles de mora, se efectuó una prueba de catación al primer día, es decir, el día de la elaboración de los geles, para dicha evaluación se seleccionaron los geles que no presentaron una marcada tendencia a la sinéresis, la evaluación se llevo a cabo con un un panel no entrenado de 50 personas para obtener información del producto con mayor preferencia, suministrándosele una planilla de evaluación sensorial que estuvo conformada por distintas variables de

aceptación (olor, color, sabor, textura y aceptación) (Figura 6). Esta prueba se llevó a cabo en la Sala de Evaluación Sensorial del Instituto de Química y Tecnología de la Facultad de Agronomía, U.C.V. Maracay. Los resultados obtenidos se les practicó una prueba no paramétrica: el test de Friedman con el fin de conocer cuales fueron los tratamientos más aceptados en cada una de las propiedades evaluadas, y en los casos que existió diferencia significativa entre las muestras, se procedió hacer comparaciones múltiples (Pedredo y Pangborn, 1996).

	COLOR			OLOR			SABOR			TEXTURA			APARIENCIA GLOBAL		
	475	581	797	475	581	797	475	581	797	475	581	797	475	581	797
Me agrada mucho															
Me agrada poco															
Me es indiferente															
Me desagrada poco															
Me desagrada mucho															

Figura 6. Planilla de Evaluación sensorial

3.8.- Análisis Estadístico:

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos (incluyendo al control) y 3 repeticiones.

Los resultados de las determinaciones de las características físicas, y químicas de la harina, almidón nativo y granular de topocho; así como de los geles de mora elaborados fueron sometidas a un análisis de varianza con un nivel de significación del 5% y las medias con diferencias significativas se sometieron a la prueba de medias de Tukey. Se utilizó el paquete estadístico Statistix Versión 8.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.- RENDIMIENTO DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE HARINA Y ALMIDONES NATIVO Y MODIFICADOS DE TOPOCHO (*Musa* ABB).

Los resultados obtenidos para el rendimiento de la pulpa de topocho en harina fueron de (34,52%), y en almidón nativo (21,14%), así como el rendimiento en los procesos de obtención de los dos tipos de almidones modificados fue de 15,25% para el pregelatinizado y de 14,5 % para el almidón granular.

Al observar el rendimiento alcanzado en el proceso de elaboración de la harina de topocho (34,52%), con el valor promedio de sólidos totales determinados para las frutas frescas (32%), se puede apreciar que éstos fueron similares entre sí; es decir, que el proceso empleado para la obtención de la harina de topocho fue bastante eficiente.

Las diferencias existentes en cuanto al rendimiento obtenido para cada uno de los diferentes tipos de almidones, podrían atribuirse a la metodología de extracción empleada para cada uno de ellos, en vista de que los procesos de modificación química requieren de fases de lavado y purificación más intensas que aquellos empleados para la obtención de almidón nativo y pre-gelatinizado, lo cual se traduce en mayores pérdidas de material amiláceo y por consiguiente, en valores de rendimiento más bajos.

4.1- CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE TOPOCHO (*Musa ABB*).

En el Cuadro 4, se muestra la composición química proximal de la harina de topocho, expresadas en base seca, observándose, que ésta muestra presenta un contenido de humedad relativamente bajo (5,79%) lo cual es característico de las harinas y se considera que son productos estables que pueden conservarse durante largos períodos de tiempo, además se puede decir, que la harina de topocho es fuente de minerales (7,25%) y carbohidratos (81,88%) debido a que se utilizó el fruto en estado inmaduro. Cabe destacar que en la actualidad son muy pocas las investigaciones realizadas en el fruto de topocho, por lo cual, en esta investigación se compararan los resultados con frutos de la misma familia, es decir, musáceas específicamente plátano (*Musa paradisiaca* L.).

En lo que respecta al contenido de humedad se observa en el Cuadro 4, que este parámetro es de 5,79%, resultado similar al reportado por Da Mota y col. (2000); Juárez y col. (2006); Pacheco, (2001); Aguirre y col. (2007) al estudiar la composición del plátano verde encontrando que este oscila entre 5,47 y 10%, estos valores son menores que los de harina de trigo, arroz, maíz y ñame cuyo valor se encuentra entre 10,8 y 13,2% (Witting y col., 2003; Yue y col., 1999; Wasiu y col., 2001; Hsieh y col., 1993; Méndez y col., 2005; Molina 1992).

Cuadro 4. Composición Química de la Harina de Topocho (HA:TO).

Parámetros (%)	HA:TO
Humedad	5,79 ± 0,19
Proteína *	4,66 ± 0,13
Grasa *	0,42 ± 0,02
Ceniza *	1,93 ± 0,05
Fibra Dietética*	7,69 ± 0,01
Almidón *	72,07 ± 0,14
Amilosa*	31,69 ± 0,05
Amilopectina*	68,31± 0,13

* Base Seca.

Para el caso de proteínas el valor obtenido fue de 4,66% como se observa en el Cuadro 4, cuyos resultados son similares a los encontrados por Aguirre y col., (2007); Juárez y col., (2006); Da Mota y col., (2000), al estudiar harina de plátano obtuvieron valores de proteína que oscilaron entre 2,5 y 4,03%. Sin embargo, cabe destacar que estos valores son bastantes bajos en comparación con el valor de proteína promedio de la harina de trigo la cual está entre 12 y 16%, según Khtchadourian y col., (1985); Granito y col. (2003), pero mayores que los de harina de batata los cuales se encuentran entre 3,94 y 4,02% según Navas y col. (1999) y Acedo y col. (2006), mientras que los valores proteína de harina de maíz se encuentran en 8,96% (Mojisola y col. 2005) y los de harina de yuca oscilan entre 1,2 y 1,42% (Sandoval y col, 2007). Estas diferencias son atribuibles a la variedad, manejo del cultivo, las diferencias de crecimiento, al proceso de secado y tamizado para la obtención de la harina, pueden ocasionar pérdidas de algunos nutrientes como las proteínas.

En cuanto al contenido de grasa se observa en el Cuadro 4, que su contenido es bastante bajo, se encuentra en 0,42%, resultados similares fueron encontrados por Navia y col., (1995); Pacheco y col., (2008); cuyos valores oscilan entre 0,17 y 0,83% Cabe destacar que estos valores son menores al compararlos con la harina de trigo los cuales oscilan entre 1,2 y 2% tal como lo señala Penna y col., (2003); Iwuoha y col., (1997); Sindoni y col. (2008); Mepba y col. (2007), mientras que Sandoval y col., (2007) reportaron en harina de yuca valores iguales a los de esta investigación.

Referente al contenido de cenizas se observa en el Cuadro 4, el cual es de 7,25%, valor que es relativamente alto al compararlo con los reportados por Juárez y col. (2006); Rodríguez y col. (2008); Navia y col. (1995); Da Mota y col. (2000); Daramola y col. (2006) en harina de plátano de la variedad (*Musa paradisiaca* L.) quienes obtuvieron valores de 2,5 a 4.7 %, No obstante, en harina de trigo el contenido de cenizas es mucho menor pues oscila entre 0,5 y 0,60% según lo reportó Khatchadourian y col., (1985), así como lo señaló Hsieh y col. (1993) en la harina de arroz cuyo valor fue de 0,4%, mientras que para harina de maíz el contenido de cenizas varía entre 1,1 y 1,7 % (Méndez y col., 2005; Agama y col., 2005)

Estas diferencias encontradas en el contenido de cenizas pueden ser atribuidas a la variedad de la materia prima, ya que estos provienen de diferentes regiones de cultivo y las características agronómicas de la variedad o híbrido utilizado son diferentes, la tecnología del cultivo y clima, además existen musáceas que son ricas en minerales como potasio, fósforo, calcio entre otros de acuerdo a la variedad (Cerqueira y col, 2005; Billed y col, 2001).

Con respecto al contenido de fibra dietética total (soluble + insoluble) presente en la harina de topocho (*Musa ABB*), se observa en el Cuadro 4, que el valor es de 7,69%, similar al reportado por Pacheco (2001); Da Mota y col. (2000); Aguirre y col, (2007); Juárez y col., (2006) y Pacheco y col., (2008) los cuales reportan valores de en su estudio de sopas deshidratadas a base de plátano verde cuyo valor de la harina fue de 8,0 a 10%. Cabe destacar que dichos valores de fibra dietética total son mayores que los reportados en harina

de trigo según Benítez y col. (2008) al estudiar su composición química cuyo valor fue de 0,80%, así como en harina de arroz cuyo valor osciló entre 0,3 a 0,7% (Hsieh y col. 1993), mientras que para la harina de yuca el valor fue de 1,2 a 2,98 % (Aryee y col., 2006; Sandoval y col., 2007), del mismo modo Rincón y col. (2000) en harinas de *D. trifida* y *D. bulbifera* los cuales oscilan entre 1,95 y 2,21%, respectivamente.

En cuanto al contenido de almidón de la harina de topocho (*Musa ABB*) cuyo valor obtenido fue de 72,07% (Cuadro 4), lo cual es aceptable debido a que se encontraba el fruto (pulpa) en estado inmaduro, este resultado coincide con los valores reportados por Juárez y col, (2006); Suntharalingam y col., (1993); Pacheco y col., (2008); Zhang y col., (2005) al estudiar la harina de banana verde (*Musa paradisiaca* L.) encontrando que dicho valor se encuentra entre de 61,7 a 74,65%, Del mismo modo, fue reportado por Krieger y col. (1998) y Houssou y col. (2002) valores de almidón para harina de maíz los cuales oscilaron entre 70,6 a 79,9%, así mismo Aryee y col. (2006) observaron que el contenido de almidón en harina de yuca osciló entre 67,92 a 88,11% valor muy similar fue reportado por Collado y col. (1996) y Singh y col. (2008) en harina de papa el cual se encontró en 68,4 y 74,5%, mientras que para la harina de trigo este contenido tiene un valor que oscila entre 68,7 y 77,7%, según Torres y col. (1993); Omowaye y col. (2008).

Evidenciándose que el almidón es el principal constituyente de las harinas, tal es el caso de la harina de topocho en estado inmaduro, por lo que se puede decir que todas las variedades de musáceas contienen un alto

porcentaje de almidón, por tanto, podría ser utilizado para muchos productos comerciales como almidón, alcohol y glucosa.

En cuanto al contenido de amilosa, su determinación es realmente importante, ya que permite predecir el comportamiento reológico de las suspensiones de almidón, determinar las condiciones de procesamiento más idóneas de acuerdo al tipo de almidón empleado y evaluar la calidad de diferentes productos alimenticios, ya que esta tiene una gran tendencia a retrogradar por lo que es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo, cabe destacar que la proporción amilosa/amilopectina y la estructura de las moléculas determinan también las características reológicas y funcionales del almidón. A mayor contenido de amilosa se pone en evidencia una mayor temperatura de gelatinización, así como la formación de geles más fuertes con mayor tendencia a retrogradar. (Pérez y col., 2005)

El valor correspondiente al contenido de amilosa, determinado para la harina de topocho se observa en el Cuadro 4, cuyo valor es de 31,69% mientras que el contenido de amilopectina es de 68,31%, estos resultados son similares a los reportados por Pacheco y col., (2008); Waliszewski y col., (2003); Kayisu y col., (1981) en harinas de plátano verde cuyos valores de amilosa y amilopectina se encuentran entre 33,26 a 40,70% y de 61,71 a 66,74% respectivamente. En cambio, al evaluar el contenido de amilosa en harinas de raíces y tubérculos Freitas y col. (2004); Sandoval y col. (2006) y Collado y col. (1996) obtuvieron valores diferentes a los reportados en el presente estudio, de 16,2 y 23,0% respectivamente, de igual manera en la

harina de arroz según Radhika y col. (1994) reportaron valores de 27%, así como en la harina de trigo el contenido de amilosa es de 25% tal como lo reportara Van Hung y col. (2006). Estas diferencias pueden explicarse por las condiciones de crecimiento, el método de extracción y la metodología empleada para la determinación de amilosa. Por lo que se puede decir, que las harinas de musáceas en general, por su alto contenido de amilosa son más estables y resistentes al calentamiento, con una mayor tendencia a retrogradar.

4.2.- Análisis Físicos:

4.2.1.- Color de la Harina:

Los parámetros de color están relacionados con las cualidades sensoriales, la composición química y, por lo tanto, es uno de los factores que define la calidad del producto final. Los resultados obtenidos para el atributo color se muestran en el Cuadro 5, medidos a través de los parámetros L, a y b, para la harina de topocho (*Musa ABB*), presentó un grado de luminosidad de 83,14.

Al calcular el valor de ΔE , se determinó la magnitud de la diferencia de color existente entre la muestra de harina de topocho y la placa estándar, presentando una diferencia para la harina de topocho, con un valor de ΔE igual a 13,89; respecto a la placa estándar. Observándose una tendencia

Cuadro 5. Valores promedio para el índice de luminosidad (L), cromaticidad (a y b) y viscosidad obtenidos para la harina de topocho (*Musa ABB*).

Parámetros (%)	HA:TO
Color*	
L	83,14 ± 0,65
a	-0,14 ± 0,00
b	10,84± 0,02
ΔE	13,89 ± 0,65
Viscosidad Aparente (cps)	60±0,00a

HA:TO Harina de Topocho

* Calibrado con la placa estándar, con valores de L = 92,59, a = -0,80 y b = 0,65.

$$\Delta E^2 = L^2 + a^2 + b^2$$

menor hacia el color blanco de la harina de topocho, esto debido a que en la harina se encuentra una serie de pigmentos tales como polifenoles los cuales contribuyen al oscurecimiento, sin embargo la reacción de oscurecimiento se ve limitada por una notable reducción de azúcares y aminoácidos los cuales son utilizados en la reacción de Maillard y enzimas que ocasionan el oscurecimiento, por lo tanto, se evita el oscurecimiento de los productos que a partir de esta musáceas se elaboran (Hsu y col., 2004 y Chou y col., 2006). Resultado muy similar al reportado por Pacheco y col. (2008) en harinas de plátano verde cuyo valor de ΔE se encontró en 13,38, mientras que para harinas de raíces y tubérculos Pérez y col. (2007); Collado y col. (1996) y Singh y col. (2000) reportaron valores de ΔE entre 8,83 y 12,35%, sin embargo para la harina de maíz amarillo el valor de ΔE fue de 53,34 (Gaytán y col., 2000; Torres y col., 2003)

4.3.- *Propiedades Reológicas de la Harina de Topocho:*

4.3.1.- *Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.*

Los resultados obtenidos en cuanto a la absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento para la muestra de harina estudiada se presentan en las Figuras 7, 8 y 9. Al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento gradual en la capacidad de absorción de agua, en la solubilidad en agua y en el poder de hinchamiento, lo cual indica el grado de asociación (enlaces intragranular) existente entre los polímeros de almidón

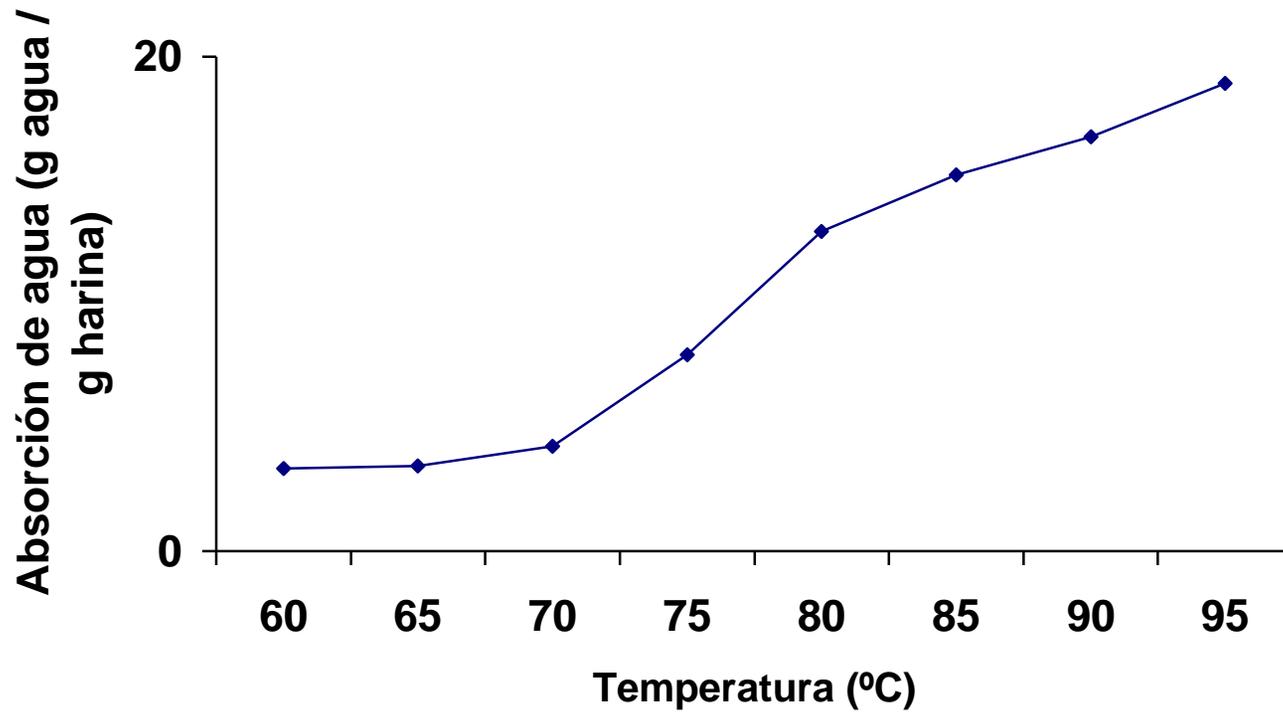


Figura 7. Absorción de agua de la harina de topocho.

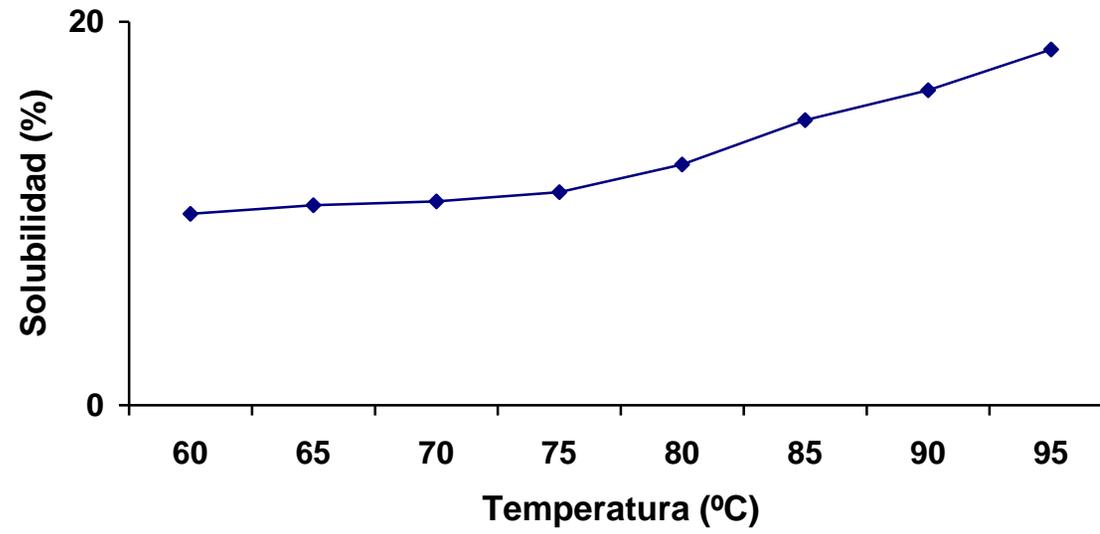


Figura 8. Solubilidad en agua de la harina de topocho.

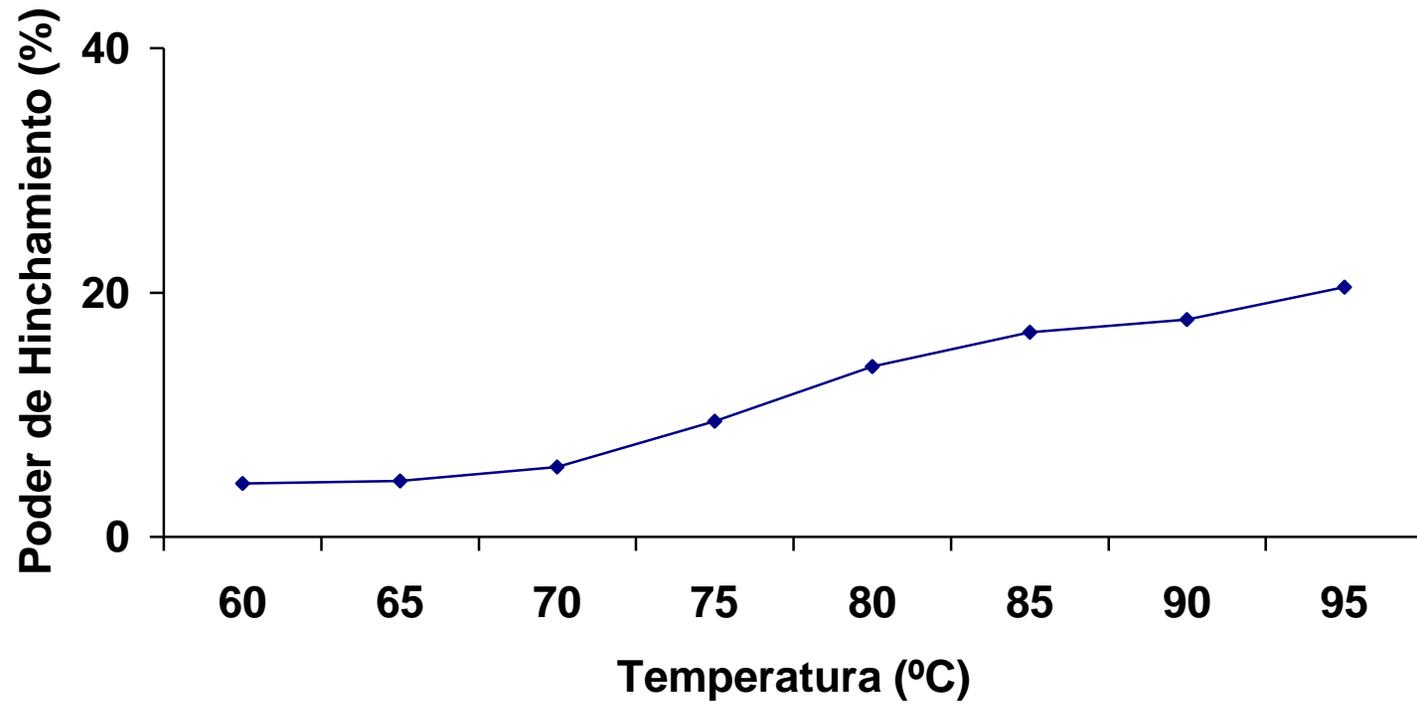


Figura 9. Poder de hinchamiento de la harina de topocho.

(amilosa y amilopectina) (Araujo y col., 2004). El incremento en la capacidad de absorción de agua y en el poder de hinchamiento de las suspensiones de harina se hace evidente a partir de los 70°C, tal como lo indican Pacheco y col., (2006) para harinas de plátano verde. Esta característica particular podría ser indicativa, de la capacidad de la harina de topocho verde a formar un gel espeso.

Cabe destacar que a temperaturas superiores de 80°C, esta puede considerarse la temperatura de gelatinización del almidón presente en la harina de topocho, lo cual pudiera atribuirse a la relación amilosa/amilopectina, pH, origen botánico o tamaño del gránulo, entre otros factores. Los gránulos de plátano Var. *Valery* en estado inmaduro son pequeños (50 – 25 µm) (Zhang y col. (2005); al ser más pequeños son más resistentes a la ruptura y pérdida del orden molecular, por lo que son más difíciles de hidrolizar, de allí que la temperatura de gelatinización sea más elevada, lo que hace suponer que la harina de topocho no es de fácil cocción.

En relación a la solubilidad (Figura 8), los valores más altos, se obtuvieron entre 80 °C hasta 95 °C, de 12,56 a 18,55% respectivamente, ésta aumenta a consecuencia del hinchamiento del gránulo el cual fue de 13,94 a 20,43% para las temperaturas de 80 a 95°C, respectivamente, en el cual sus constituyentes solubles pueden ser disueltos en el agua, en función de la temperatura, a diferencia del nivel de absorción, aunado a esto podría atribuirse al mayor contenido de amilosa en esta variedad, debido a que estas moléculas se solubilizan y salen al exterior del gránulo del almidón hinchado. Es importante

señalar que el proceso de gelatinización depende como señalan Shim y Mulvaney (2001) de la concentración y tipo de almidón, temperatura de calentamiento, y aditivos (azúcares y lípidos). La relación amilosa/amilopectina y el contenido de fósforo también afectan a la gelatinización (Sikora y col., 1999), del mismo modo Lii y col. (1982) al estudiar las propiedades de almidón de plátano observaron que la temperatura de gelatinización de 77 a 81 °C y 75 a 80 °C para un estado inmaduro de 0 días y de un día respectivamente, asegurando Da Mota y col. (2000) que la diferencias de las temperatura de gelatinización son atribuidas a las variedades, la interferencia de otros compuestos presentes en la harina (proteína y fibra).

Esta tendencia de las suspensiones de harina de topocho, a incrementar la capacidad de absorción de agua, la solubilidad en agua y el poder de hinchamiento a medida que aumenta la temperatura, es similar a la reportada por González y Pacheco, (2006), los cuales estudiaron el comportamiento reológico de la harina de cambur verde, obteniendo un porcentaje de solubilidad de 13,42 a 19,85% para las temperaturas de 60 a 95°C, respectivamente, esto debido probablemente a que la harina de cambur verde, posee mayor cantidad de sólidos soluble tales como carbohidratos de bajo peso, mientras que el poder de hinchamiento presentó valores de 4,32 a 14,19%, 60 y 95 °C, respectivamente, Rou Rached y col., (2006), en muestras de harinas de mapuey de la variedad blanco y morado obteniendo una mayor solubilidad a 95 °C el mapuey morado lo que puede atribuirse al alto contenido de amilosa, del mismo modo según Sandoval y col. (2007) y Aryee y col. (2006) las harinas de yuca presentaron

valores similares de temperatura de inicio de gelatinización (60,9 °C) con valores de gelatinización de 5,87 a 13,48%; lo cual se explica por el menor contenido de almidón característico de cada harina y en la influencia de los otros compuestos presentes (como proteína y fibra), del mismo modo, Yoenyongbuddhagal y Noomhorm, (2002) reportaron en harinas de arroz un poder de hinchamiento que fue incrementándose a medida que se aumentaba la temperatura, con valores promedio que oscilan entre 10,30 y 11,80%, sin embargo, estos valores son muy bajos si se compara con la curva del apio criollo (Arracacha) (Pérez y col., 1999), la cual posee valores mayores (2 a 50%) aproximadamente.

Aseguran Lii y col. (2003) que estas diferencias se deben en parte a la constitución físico-química particular de cada cultivo, a las diferencias estructurales y morfológicas de sus almidones; y también a que los almidones se hinchan dependiendo de su origen botánico.

4.4.- CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES AISLADOS DE TOPOCHO (*Musa ABB*) NATIVOS, PREGELATINIZADOY GRANULARES

4.4.1.- Caracterización Química:

En el Cuadro 6, se presentan los resultados obtenidos para la composición química proximal evaluadas en los almidones nativos, pregelatinizados y granulares de topocho, expresados en base seca.

Cuadro 6. Composición Química del almidón nativo, pregelatinizado, granular de topocho y almidón de maíz, expresados en base seca a excepción de la humedad.

Parámetros (%)	AL:TO1	ALN:TO2	ALG:TO	AL:M
Humedad	5,84 ± 0,06 ^b	9,53 ± 0,02 ^a	8,87 ± 0,19 ^a	10,01 ± 0,02 ^a
Proteína	1,62 ± 0,00 ^a	1,64 ± 0,03 ^a	1,54 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,00 ^c
Grasa	0,36 ± 0,07 ^a	0,46 ± 0,02 ^a	0,18 ± 0,02 ^a	0,18 ± 0,03 ^a
Ceniza	0,08 ± 0,01 ^c	0,09 ± 0,00 ^b	0,12 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,01 ^{ab}
Almidón	97,58 ± 0,25 ^a	97,81 ± 0,00 ^a	97,74 ± 0,14 ^a	98,70 ± 0,02 ^a
Amilosa	45,13 ± 0,04 ^a	45,90 ± 0,04 ^a	40,16 ± 0,04 ^b	32,43 ± 0,01 ^c
Amilopectina	54,87 ± 0,14 ^c	54,10 ± 0,04 ^d	59,84 ± 0,04 ^b	67,57 ± 0,11 ^a

AL:TO1 Almidón pregelatinizado Topocho

ALN:TO2 Almidón Nativo de Pulpa de Topocho

ALG:TO Almidón Granular soluble en agua fría de Topocho

AL:M Almidón de Maíz comercial.

Nota: Los tratamientos con iguales letras, en una misma fila indican que entre ellos no existen diferencias significativas, para $p \leq 0,05$.

En cuanto al rendimiento, el valor obtenido 21,14% para el almidón nativo, los cuales son bastante aceptables, si se considera el peso que pueden alcanzar estas musáceas, así como las pérdidas por el factor desecho. En cambio, para el almidón granular soluble en agua fría, el rendimiento obtenido fue de 25,5%.

El Cuadro 6, muestra la composición química proximal del almidón nativo, pregelatinizado y almidón granular de topocho así como del almidón de maíz expresadas en base seca; se observa que existe un comportamiento diferente entre las muestras analizadas, ya que a las misma se obtuvieron de diferentes maneras, es decir, el almidón (ALN:TO2) se aisló de la pulpa de topocho, mientras que (AL:TO1) fue aislado de la harina, obteniendo así un almidón modificado físicamente, ya que para la obtención de la harina se aplicó un proceso de deshidratación convencional (estufa con circulación de aire) a una temperatura de 80°C por 3 horas tiempo en el cual se alcanza la humedad constante, con esto se logra producir cambios en los diferentes niveles de organización estructural del almidón (molecular, cristalino y granular), que modifiquen sus propiedades funcionales (Pérez y col., 1998).

Por otro lado el almidón granular (ALG:TO) se aisló del almidón nativo, obteniendo un almidón modificado químicamente por medio de un tratamiento alcohólico-alcálico, permitiendo así obtener un almidón más estable y soluble en agua fría (Chen y Jane, 1994a,b; Light, 1990; Singh y Singh, 2003).

Referente al contenido de ceniza el análisis de varianza detectó diferencias significativas a un nivel de significancia del 5%, entre cada una de las muestras bajo estudio lo cual se observa en el Cuadro 6, luego se procedió a realizar la prueba de medias de Tukey que indicó que la muestra ALG:TO presentó el mayor contenido de cenizas (0,12%), formando el grupo (a) y la muestra AL:M tiene un valor de intermedio (0,10%) encontrándose en el grupo (ab), el grupo (b) esta conformado por ALN:TO2 (0,09%), AL:TO1 presentó el valor más bajo de cenizas (0,08%) conformando el grupo (c); lo que nos indica que el contenido de ceniza en estos almidones es muy baja, sin embargo su presencia se debe al contenido de potasio y magnesio presente en esta musácea.

Similares resultados fueron obtenidos por Waliszewski y col., (2003), los cuales obtuvieron almidón nativo utilizando var. *Valery* en su primera etapa de maduración, el cual reportó un contenido de ceniza (0,47%), valores que concuerdan con los presentados por Bello y col., (2006); Bround y col., (2002) a pesar que obtuvieron almidón nativo de (*Musa paradisiaca* L.), caso contrario fue el obtenido por Pérez, (1996), cuyo contenido reportado fue de 0,02%, el cual coincide con los del presente estudio. Al comparar con almidones comestibles como el trigo, la papa y la yuca, cuyo contenido de cenizas oscila entre 0,11 y 0,45% según lo reportado por Vansteelandt y Delcour (1999); González y Pérez, (2003); Mali y col. (2002); Wischmann y col. (2007), observándose que estos resultados son superiores a los reportados en este estudio, evidenciándose que el contenido del mismo depende del cultivo y la variedad.

Chen y Jane, (1994b) obtuvieron valores de cenizas para almidones maíz granulares solubles en agua fría 0,40%, lo que supera el contenido del almidón nativo, este comportamiento en el contenido de ceniza es similar al de ésta investigación. Asegurando los autores que en general, la modificación por medio del tratamiento alcohólico-alcálico incrementa el contenido de ceniza, ya que estos almidones se encuentran bajo condiciones alcalinas y como consecuencia, existen trazas de sal que ocasiona el aumento de esta fracción en los mismos.

Para el caso de las proteínas el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas, por lo que se procedió a realizar una prueba de media de Tukey que generó tres grupos homogéneos, tal como se muestra en el Cuadro 6. Las muestras ALN:TO2 presentaron el mayor contenido de proteínas (1,64%) y AL:TO1 con un valor (1,62%) pertenecientes al grupo (a), el grupo (b) conformado por ALG:TO con valor intermedio de (1,54%) y el grupo (c) por AL:M con el menor valor de proteína (0,02%), lo que permite inferir que el bajo contenido de proteína se debe a la extracción del almidón y a los lavados que este procedimiento conlleva, a pesar de que la harina posee un contenido considerable de proteína. Es importante señalar que la disminución de esta fracción en el almidón granular soluble en agua fría es atribuible a las técnicas utilizadas para la purificación del almidón, además de la precipitación de las proteínas periféricas y en consecuencia, su solubilización durante las etapas posteriores del proceso de modificación (Lawal y col., 2005).

Resultados muy parecidos en musáceas fueron reportados por Bello y col. (2006); Brouns y col. (2002); Nuñez y col. (2004); Waliszewski y col. (2003) en almidones de plátano donde el contenido de proteína se encontró de 0,22 a 2,03%, al comparar con almidones de raíces y tubérculos (papa, yuca, ñame) el contenido de proteína oscila entre 0,6 y 0,10% (Alvis y col., 2008; Freitas y col., 2004).

El contenido de grasa se puede apreciar en el Cuadro 6, como era de esperarse, fue significativamente diferente entre las muestras de almidones de topocho evaluados, ya que éstos fueron sometidos a un proceso de purificación. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas. Las muestras ALG:TO presentaron el menor contenido de grasa (0,18%), al igual que el almidón de maíz, mientras que el AL:TO1 con un valor intermedio (0,36%) y el ALN:TO2 con en mayor valor de (0,46%). Este evento podría explicarse en función del posible efecto que los tratamientos pueden tener sobre la polaridad o tal vez sobre los enlaces entre la grasa presente en este tipo de almidón, con sus componentes amiláceos u otro componente del mismo. Por lo que la materia grasa sería menos extraíble por los solventes orgánicos utilizados en el método de cuantificación (Pérez y Pacheco, 2005).

El contenido de materia grasa encontrado en esta investigación fueron similares a lo reportado por Bello y col., (2002); Waliszewski y col., (2003); Bello y col., (2000) para almidones de plátano. No obstante, Zamudio y col., (2005), al determinar el contenido de lípidos totales en almidón de plátano nativo y

modificado, estos se encontraron entre 1,85 y 1,05% de materia grasa, respectivamente. Esto puede deberse a que durante la extracción de los lípidos se pudieron cuantificar algunos pigmentos (principalmente del tipo carotenoides), mientras que Chen y Jane (1994) reportaron un contenido graso de 0,04% en almidones de maíz granulares solubles en agua fría.

El contenido de almidón de las muestras analizadas puede ser apreciado en el Cuadro 6. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas. Las muestras AL:TO1 presentaron el menor contenido de almidón (97,58%), mientras que el ALN:TO2 reportó el mayor contenido de almidón (97,81%), gracias a que los almidones de topocho fueron sometidos a un proceso de aislamiento y purificación, que incrementó la concentración de almidón a valores por encima del 95%.

El contenido de amilosa es importante para la producción de almidón resistente, ya que los almidones con un alto contenido de amilosa tienen mayor capacidad de retrogradación, y por tanto, mayor formación de almidón resistente, además permite predecir el comportamiento reológico de las suspensiones de almidón, determinar las condiciones de procesamiento más idóneas de acuerdo al tipo de almidón empleado y evaluar la calidad de diferentes productos alimenticios (Pérez y col., 2005; Fox y Cameron, 1997).

Los valores correspondientes al contenido de amilosa, determinados para la los diferentes tipos de almidones, en el análisis de varianza se detectó diferencias

significativas entre las formulaciones estudiadas, por lo que se procedió a realizar una prueba de media de Tukey que generó tres grupos homogéneos, tal como se muestra en el Cuadro 6. Las muestras ALN:TO2 presentaron el mayor contenido de amilosa (45,90%) y AL:TO1 con un valor (45,13%) pertenecientes al grupo (a), el grupo (b) conformado por ALG:TO con valor intermedio de (40,16%) y el grupo (c) por AL:M con el menor valor de amilosa (32,43%). Cabe destacar que los resultados de esta investigación concuerdan con el contenido de amilosa esperado para este tipo de muestras. El efecto del tratamiento se reflejó en la producción de reacciones de hidrólisis y del fenómeno conocido como despolimerización, que consiste en la ruptura de las cadenas de amilosa, así como de los puntos de ramificación de la estructura de la amilopectina lo que produjo una disminución en el contenido de amilosa (Jayakody y Hoover, 2002). Sin embargo, la hidrólisis no degrada completamente la estructura cristalina de los gránulos de almidón (Franco y col., 2002), lo cual podría producir un almidón resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas (Aparicio y col., 2005).

El contenido de amilosa en el almidón de plátano debería encontrarse aproximadamente en 37.0%, valor superior al de almidones nativos de maíz (27-30%) reportados por Yoshimoto y col. (2000) y Tester y col. (2004). Kaur y col. (2004), recientemente Liu y col. (2007) señalaron que el contenido de amilosa y la longitud de la cadena de amilopectina pueden influir en la digestibilidad del almidón, tal es el caso del almidón de plátano, cuya cristalinidad limita la hidrólisis, (Hernández y col., 2008), el grado de cristalinidad depende principalmente de las características estructurales de la amilopectina y también la amilosa produce un

tipo de estructura cristalina a pesar de que retrograda. El almidón de plátano ha sido reportado con un patrón de difracción tipo A (Faisant y col., 1995; Lii y col., 1982; Chang y col., 1991) la cual es una estructura que esta basado en el empaquetamiento de las dobles hélices con un arreglo monoclinico que puede unir 6 moléculas de agua (Imberty y col., 1988), y por Waliszewski, (2003) con un patrón de difracción tipo C, así como por Bello y col. (2000) reportaron un patrón de difracción de plátano de almidones (Macho y Criollo) tipo B, el cual es hexagonal y puede unir 36 moléculas de agua (Imberty y col., 1988). Por lo tanto, el tipo cristalinidad no está claro, pudiendo tener el almidón de plátano una cristalinidad tipo A, cristalinidad tipo B, o un mezcla de las dos dependiendo de la fuente de variedades y de las condiciones de cultivo (medio ambiente), así como de la técnica de aislamiento, es importante señalar que las modificaciones químicas no afectan el patrón de difracción pero sí el porcentaje de cristalinidad del almidón (Rivas y col., 2008).

Si se comparan los valores de amilosa reportados por Singh y col. (2003) con los encontrados en este estudio, se puede observar que el valor obtenido para almidón de topocho, se encuentra en un rango superior a los almidones de papa, maíz, trigo y arroz alto en amilosa; mientras que el almidón de topocho es similar al valor obtenido para el maíz alto en amilosa. Los valores de amilosa de las muestras evaluadas, permiten catalogarlos como almidones con alto contenido en amilosa. Asimismo, la relación amilosa/ amilopectina indica mayor contenido de amilosa y por consiguiente geles más fuertes con mayor tendencia a retrogradar, sin embargo Chen y Jane (1994a,b) demostraron que la retrogradación del

almidón de maíz granular soluble en agua fría es retardada por la repulsión entre las cargas negativas que incorporan por medio de los grupos hidroxilos, con lo cual el comportamiento de la pasta de almidón en sistemas acuosos puede depender de ello, además de otras características físicas y químicas de los gránulos de almidón, tales como, promedio del tamaño de gránulo, distribución del tamaño del gránulo y contenido mineral. El contenido de amilosa de los gránulos de almidón varía con la fuente botánica y es afectado por las condiciones climáticas y tipo de suelo durante el crecimiento. La actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis del almidón puede ser responsable de la variación en el contenido de amilosa entre diferentes almidones, así como los distintos procedimientos de aislamiento y los métodos analíticos usados para determinar el contenido de amilosa (Singh y Singh, 2003; Liu y col., 2007; Rivas y col., 2008; Jayakody y Hoover, 2002; Jane y col., 1994).

Al evaluar el contenido de amilopectina en almidones de topocho, valores reportados en el Cuadro 6, el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre las formulaciones estudiadas, por lo que se procedió a realizar una prueba de media de Tukey que generó cuatro grupos homogéneos. Las muestras AL:M presentó el mayor contenido de amilosa (67,57%) perteneciente al grupo (a), el grupo (b) conformado por ALG:TO con valor intermedio de (59,84%), el grupo (c) por AL:TO1 con un valor de amilopectina (54,87%) y el grupo (d) con el menor valor (54,10%). Evidenciándose la formación de pastas espesas con menor tendencia a retrogradar en el almidón de maíz, mientras que los almidones de

topocho tienden a formar geles más fuertes con una marcada tendencia a retrogradar determinado por su bajo contenido de amilopectina.

4.4.2.- Propiedades Reológicas:

4.4.2.1.- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.

Los resultados de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento obtenidos para cada una de las muestras de almidones evaluadas se presentan en las figuras 10, 11 y 12. Donde se evidencia que, al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento en la capacidad de absorción de agua en la solubilidad y en el poder de hinchamiento, para cada una de las muestras analizadas, esto debido a que se produce una interacción entre las cadenas de almidón constituidas por amilosa y amilopectina, que permite la interacción del agua con los gránulos de almidón, de igual forma están influenciados por las características de la amilosa y amilopectina en cuanto a la distribución del peso molecular, grado de ramificación, longitud de las cadenas, y conformación de las moléculas, así como por la formación de complejos amilosa-lípidos (Warkentin, 2002; Zhang y col., 2005).

El incremento en la capacidad de absorción de agua en la solubilidad y en el poder de hinchamiento de las suspensiones de almidones de topocho nativo y modificado se hace evidente después de 70 °C, tal como lo indican Bello y col., (1999) para almidones nativos de plátano (*Musa paradisiaca* L), cabe destacar

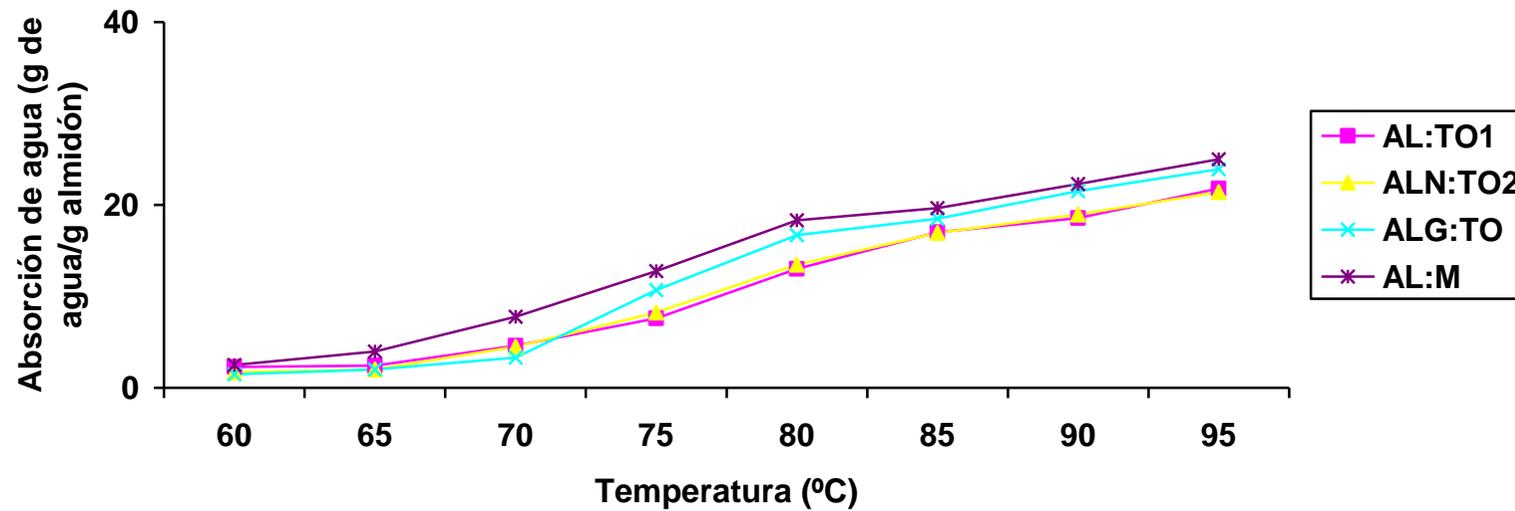


Figura 10. Absorción de agua de los almidones de topochó; (AL:TO1: almidón pregelatinizado; ALN:TO2: almidón nativo de la pulpa; AGSAF: almidón modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría, AL:M: almidón de maíz).

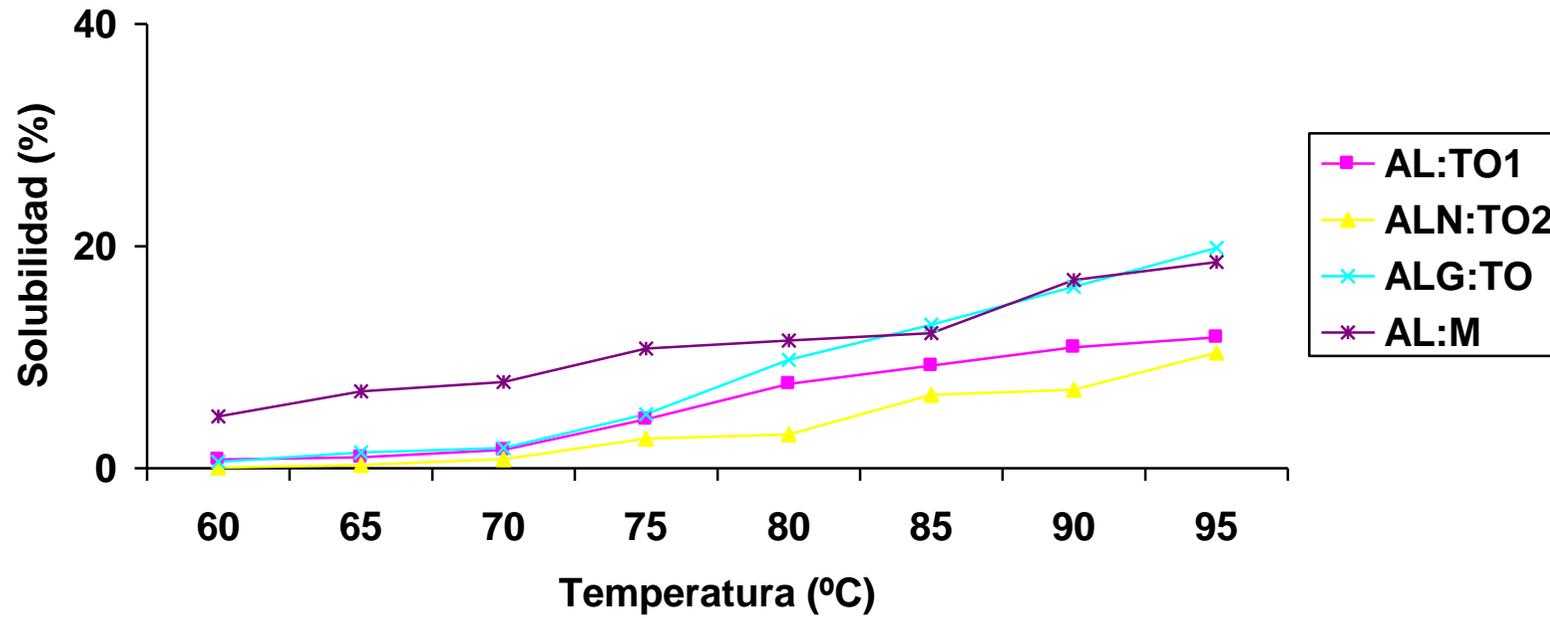


Figura 11. Solubilidad en agua de los almidones de topocho; (AL:TO1: almidón pregelatinizado; ALN:TO2: almidón nativo de la pulpa; AGSAF: almidón modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría, AL:M: almidón de maíz).

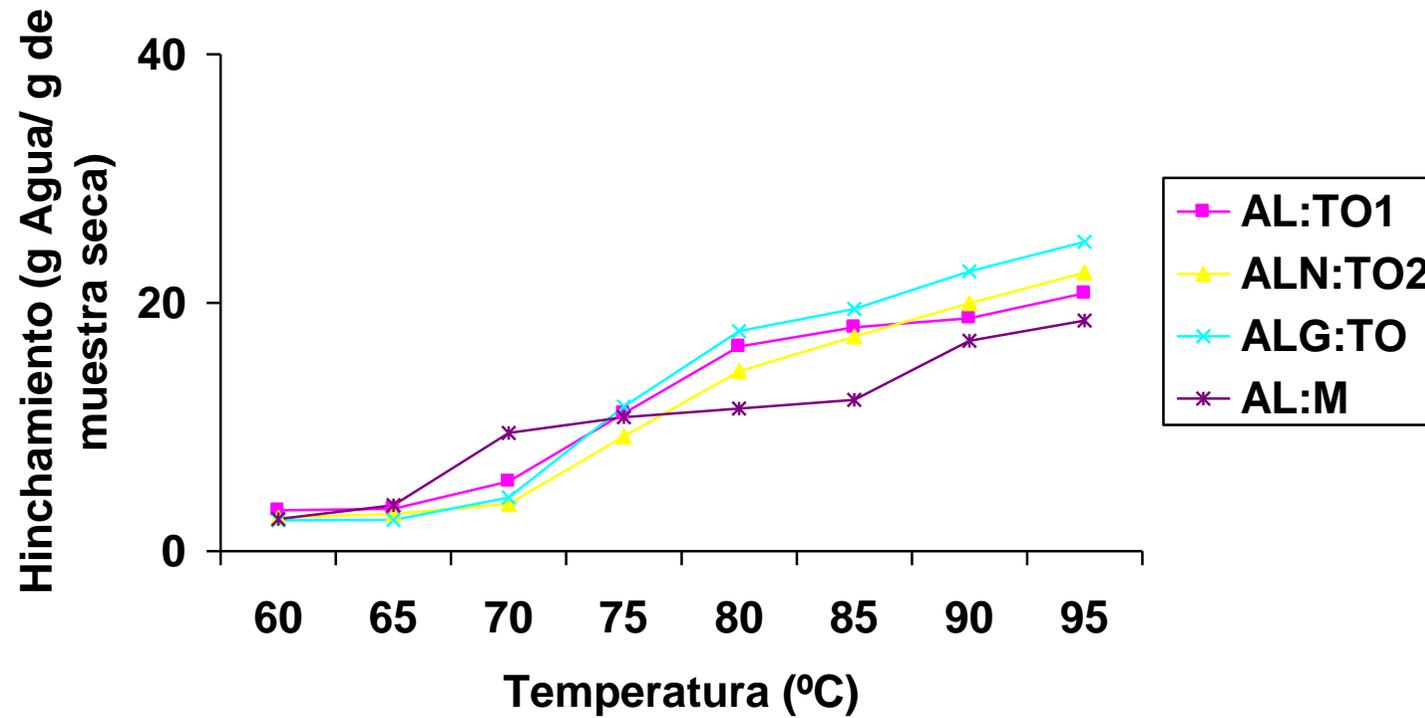


Figura 12. Poder de hinchamiento de almidones de topocho; (AL:TO1: almidón pregelatinizado; ALN:TO2: almidón nativo de la pulpa; AGSAF: almidón modificado por tratamiento alcohólico-alcalino, granulares solubles en agua fría, AL:M: almidón de maíz)

que en los almidones de topocho el incremento de la temperatura causó un aumento del índice de absorción de agua, además de producir un rompimiento de las fuerzas intragranulares de la región amorfa, conduciendo al inicio del desdoblamiento de las regiones de doble hélice y al rompimiento de las estructuras de amilopectina con lo cual se va generando una desorganización de la estructura del gránulo (Chen y Jane, 1994 a,b; Shing y Singh, 2003; Bello y col., 2006).

Para temperaturas iguales o superiores a $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, la suspensión de almidón de topocho en estudio exhibió los mayores valores de solubilidad y poder de hinchamiento (Figuras 11 y 12), resultado muy similar al encontrado por Zhang y col., (2005); De la Torre y col., (2008); Núñez y col., (2004) en almidones de plátano el cual presentó a temperaturas superiores de los $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ una solubilidad y poder de hinchamiento mayor al de milo pero menor que el de yuca, papa y ñame según lo reportaran Yuan y col. (2007); Jayakody y col. (2007); Amani y col. (2005); asegurando que se debe a la longitud y estructura de la cadena de amilopectina, mientras que Aparicio y col. (2002) señaló un comportamiento similar en el almidón de maíz pero el comienzo de la solubilidad se da a los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cabe destacar que el poder de hinchamiento esta relacionado con la unión asociativa dentro del gránulo de almidón, y aparentemente la fuerza y carácter de la red micelar está relacionada con el contenido de amilosa en el almidón, es decir, un alto contenido de amilosa produce un bajo poder de hinchamiento, por lo que requieren de mayor temperatura para que los enlaces

de hidrógeno se rompan en las áreas amorfas, lo cual es irreversible contribuyendo así, a la absorción progresiva del agua en el almidón (De la Torre y col., 2008; Adebowale y col., 2002). Además, es importante señalar que el poder de hinchamiento también está determinado por el tamaño del gránulo, temperatura de gelatinización y la organización supramolecular de los componentes del almidón (longitud de la cadena de amilopectina y contenido de amilosa). (Bello y col., 2002; Sasaki y Matsuki, 1998).

En cuanto a la solubilidad la cual indica el grado de asociación existente (enlaces intragranulares) entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) (Figura 15), los valores más altos para cada una de las muestras evaluadas, se obtuvieron en el rango de temperatura comprendido entre los 75 a 95°C, ésta aumenta a consecuencia del hinchamiento del gránulo y del incremento de la temperatura lo que conlleva a un aumento de la movilidad de los gránulos de almidón, lo cual facilita la dispersión de las moléculas de almidón en el agua, produciendo un incremento en la solubilidad (Rincón y col., 2007). Este incremento en la solubilidad podría atribuirse al mayor contenido de amilosa en esta variedad, debido a que estas moléculas son las primeras que se solubilizan y salen al exterior del gránulo de almidón hinchado.

No obstante, cabe destacar que las suspensiones de almidón granular mostraron valores de poder de hinchamiento (24%) y de solubilidad (19 g agua / g almidón) superiores al almidón nativo (22% y 10 g agua / g almidón). Estos resultados pueden ser una combinación de efectos como son las altas temperaturas que incrementan el grado de hinchamiento del gránulo debido a

que provocan la ruptura de enlaces intragranulares, y la concentración de etanol permite la incorporación de grupos hidrofílicos, ya que se produce la disrupción de las regiones amorfas y debilitan la estructura granular, permitiendo así que el hinchamiento de los gránulos ocurra libremente; y aunado a esto, aparecen cargas negativas sobre las moléculas de almidón debido a la ionización de los grupos hidroxilo, lo cual resulta en un fenómeno de repulsión que facilita el percolamiento del agua en el interior de los gránulos, con un subsiguiente incremento en su tamaño y volumen. Además, este tipo de modificaciones provocan el acortamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina (despolimerización), disminuyendo su peso molecular e incrementando su capacidad de dispersión en un medio acuoso (Miles y col., 1985; Karim y col., 2008; Bello y col., 2002; Chen y Jane, 1994; Adebowale y Lawal, 2003).

Resultados similares fueron encontrados por Waliszewski y col. (2003); Bello y col. (2002); Sánchez y col. (2005); que el almidón nativo del plátano presenta una solubilidad y un poder de hinchamiento bajo, que mediante la modificación química se mejora estas propiedades, resultados similares fueron encontrados en almidones de yuca, papa, maíz y ñame (Singh y Singh, 2003; González y Pérez, 2003; Martínez y col., 2005; Chan y Jane, 1994b).

4.4.2.2.- Solubilidad en agua fría.

Los resultados obtenidos para la solubilidad en agua fría de los almidones nativos y granular de topocho se muestran en el Cuadro 7, donde se pueden

Cuadro 7. Solubilidad en agua fría (%) del almidón nativo y granular de topocho.

Muestra	Solubilidad en Agua Fría (%)
AL:TO1	7,45 ± 0,05 ^c
ALN:TO2	8,01 ± 0,02 ^c
ALG:TO	19,50 ± 0,05 ^a
AL:M	16,00 ± 0,04 ^b

AL:TO1 Almidón pregelatinizado de Topocho
 ALN:TO2 Almidón Nativo de Pulpa de Topocho
 ALG:TO Almidón Granular soluble en agua fría de topocho.
 AL:M Almidón de maíz

Nota: Los tratamientos con iguales letras, en la misma columna indican que entre ellos no existen diferencias significativas, para un nivel de significación de 0,05.

observar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras estudiadas, por lo que se procedió a realizar una prueba de media de Tukey que generó tres grupos homogéneos, tal como se muestra en el Cuadro 7. La muestra ALG:TO presentó la mayor solubilidad en agua fría (19,50%) pertenece al grupo (a), el grupo (b) conformado por AL:M con valor intermedio de solubilidad en agua fría (16,00%) y el grupo (c) conformado por AL:TO1 y ALN:TO2 con el menor valor (7,45%) y (8,01%) respectivamente.

Como era de esperarse los almidones granulares de topocho presentaron mayor solubilidad en agua fría, lo que se justifica principalmente por la incorporación de bajas concentraciones de etanol (<40%) lo que disminuye el número de asociaciones entre cadenas de almidón, facilitando su dispersión en agua (Cheng y Jane ,1994a; Bello y col., 2002), además puede ocurrir el acortamiento de los polímeros que constituyen el almidón (despolimerización), es decir, de las cadenas de amilosa y amilopectina por efecto del alcohol acuoso y altas temperaturas se logra convertir una estructura nativa de doble hélice en hélices solas, ocasionando que la cavidad de las hélices en el centro este vacía, lo cual permite que dichos componentes se muevan rápidamente y con mayor facilidad hacia el medio dispersante, sin necesidad de que ocurra la gelatinización para provocar la ruptura de los gránulos de almidón, de esta manera se logra obtener gránulos de almidón más estables y solubles en agua fría (Chen y Jane, 1994b; Adebawale y Lawal, 2003).

Los resultados obtenidos por otros investigadores fueron similares a los reportados en el presente estudio, entre los cuales se encuentra Bello y col. (2002) al estudiar la solubilidad en agua fría de los almidones granulares de plátano verde, reportaron valores de 22,3 %, del mismo modo Chen y Jane, (1994b) y Moreno y col. (2003) al estudiar la solubilidad en agua fría de almidones nativos y modificados de maíz reportaron valores de 16 a 22,5% siendo mayor en los almidones granulares. Singh y Singh, (2003) encontraron iguales resultados para almidones granulares de papa. Este comportamiento se puede atribuir a que tienen una cantidad de amilosa similar, ya que la solubilidad en agua fría esta determinada por la estructura granular y contenido de amilosa, así como la longitud de la cadena de amilopectina (Bello y col., 1998; Imberty y Pérez, 1988; Singh y Singh, 2007).

Por lo tanto los almidones granulares son capaces de solubilizarse en agua fría, es decir, a temperatura ambiente, lo que le confiere un uso potencial en alimentos instantáneos, tales como pudines, rellenos para tortas y bebidas, pues le confiere mayor viscosidad y textura suave.

4.4.2.3.-Capacidad de retención de agua.

Los resultados obtenidos para la capacidad de retención de agua de los almidones nativos y granulares de topocho se muestran en el Cuadro 8, donde se pueden observar que entre las muestras estudiadas, el ALG:TO presenta la mayor capacidad de retención de agua (24 %), mientras el valor más bajo se obtuvo para el almidón de maíz (12 %) y para el almidón pregelatinizado de

Cuadro 8. Capacidad de Retención de Agua del almidón nativo y granular de topocho.

TEMPERATURA (°C)			
MUESTRA	70	80	90
AL:TO1	4,00 ± 0,03 ^b	10,00 ± 0,07 ^d	15,00 ± 0,03 ^c
ALN:TO2	8,00 ± 0,06 ^a	14,00 ± 0,50 ^b	18,00 ± 0,50 ^b
ALG:TO	2,00 ± 0,00 ^c	17,00 ± 0,05 ^a	24,00 ± 0,02 ^a
AL:M	4,00 ± 0,05 ^b	11,00 ± 0,03 ^c	12,00 ± 0,07 ^d

AL:TO1 Almidón pregelatinizado de Topocho

ALN:TO2 Almidón Nativo de Topocho

ALG:TO Almidón Granular soluble en agua fría de Topocho.

AL:M Almidón de Maíz.

Nota: Los tratamientos con iguales letras, en la misma columna indican que entre ellos no existen diferencias significativas, para un nivel de significación de 0,05.

topocho (15 %), lo que refleja en el almidón granular soluble en agua fría una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón generando así la formación de un gel más estable con menor tendencia a la sinéresis, lo cual está asociado a una mayor presencia de zonas semi cristalinas y además de poseer un mayor contenido de amilosa (Imberty y col., 1988),

Los resultados obtenidos por Bello y col., (2002), difieren de los obtenidos en esta investigación, ya que los autores reportaron que los almidones granulares de plátano verde presentan menor capacidad de retención de agua, este comportamiento puede ser atribuido a la diferencia en la relación amilosa/amilopectina, ya que durante el tratamiento térmico la amilosa se encuentra en una fase continua como consecuencia de la pérdida de agua del gránulo de almidón, mientras que la amilopectina permanece constante (Bello y col., 1998 Núñez y col., 2008).

Sin embargo, Waliszewski y col., (2003) y De la Torre y col., (2008) al estudiar los cambios en el almidón de plátano verde por medio de modificaciones químicas (hidroxipropilados, entrecruzados) y físicas, encontraron que el almidón con modificación química presenta la mayor capacidad de retención de agua debido a la incorporación de grupos hidrofílicos y a la ruptura de los puentes de hidrógeno en las áreas amorfas, permitiendo así la absorción irreversible y progresiva del agua.

Shujun y col. (2007) al estudiar los almidones de ñame *Dioscorea opposita* cv. Anguo y *Dioscorea opposita* cv. Jinpingyao proveniente de

diferentes variedades observaron que la capacidad de retención de agua fue mayor en *Dioscorea opposita* cv. Jinpingyao la cual es atribuida a la variedad y estructura del gránulo de almidón, mientras que Shujun y col. (2006) al estudiar los almidones de variedades *D.opposita* Thunb mostró una capacidad de retención menor que la variedad *D. opposita* Jiaxiangxichangmao y la más alto para *D. opposita* Jinchengyihao, asegurando los autores que la capacidad de retención de agua para estos almidones es bajo lo que puede ser atribuido a una proporción más grande de los grupos de hidróxido en la formación del hidrógeno y de enlaces covalentes entre las cadenas de almidón (Hoover y Sosulski, 1986).

4.4.2.4.- Estabilidad y claridad de las pastas.

En la Figura 13, se presentan los resultados obtenidos para el porcentaje de transmitancia determinado para cada una de las pastas de almidones de topocho evaluadas a temperatura ambiente y los evaluados a 4°C, por un período de 72 horas.

Diferencias en el % de transmitancia fueron observadas entre las muestras nativas y granular almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración 4°C, se puede notar que éstos presentan un comportamiento similar donde es notorio que permanecen casi constantes a través del tiempo para todas las muestras de almidones evaluadas a temperatura ambiente (Figura 13-A) por lo que se puede decir que, presentan una estabilidad alta a la retrogradación; mientras que a 4°C (Figura 13-B), se observa que los valores

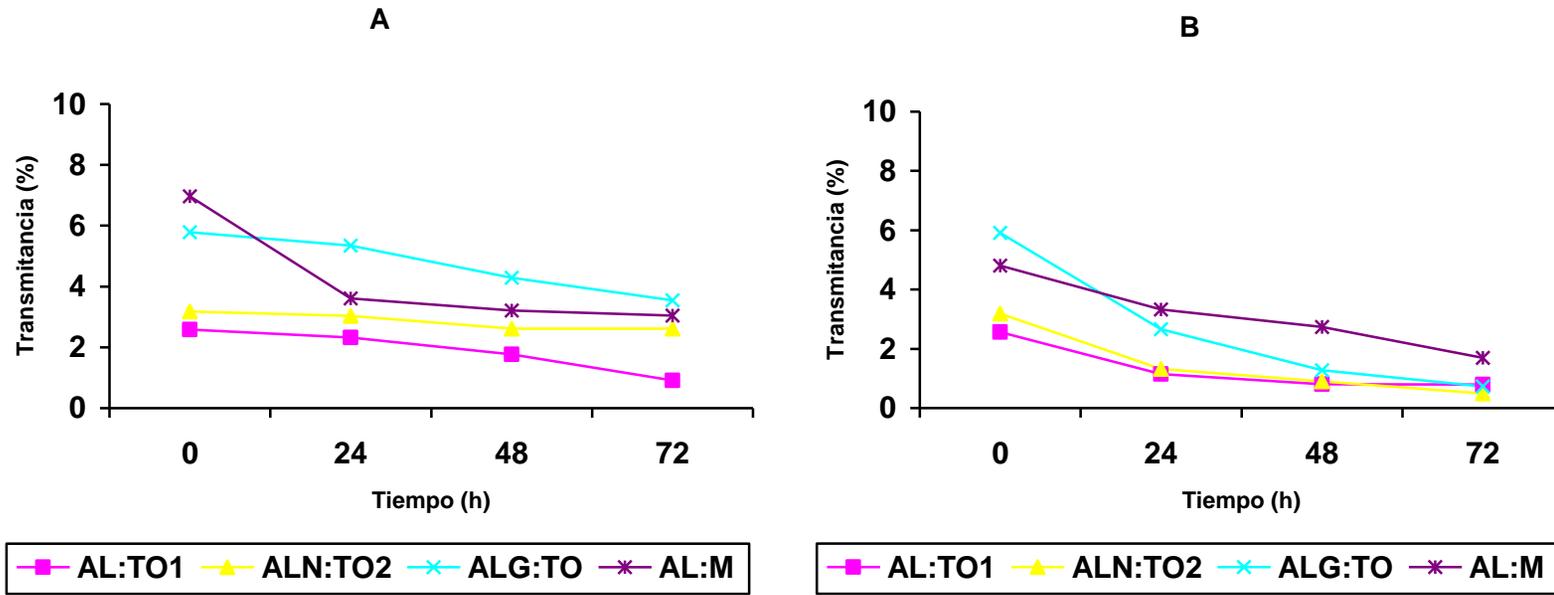


Figura 13. Claridad (% T a 650 nm) a temperatura ambiente (A) y 4 °C (B) de almidones nativos, pregelatinizados, granular de topocho y almidón de maíz comercial.

de transmitancia obtenidos presentaron un comportamiento decreciente a medida que transcurría el tiempo de observación, con valores cercanos al 8% y próximos al 1%.

Este comportamiento del porcentaje de transmitancia a temperaturas de refrigeración (4 °C) experimentada por los almidones de topocho nativos y granulares solubles en agua fría, se evidencia a partir de las 24 horas de almacenamiento, puede explicarse a que se da la retrogradación del almidón, por su elevado contenido de amilosa (entre 40,16 y 45,90%), cabe destacar que la retrogradación ocurre en dos etapas la primera, donde se da la congelación de las moléculas de amilosa exudadas de los gránulos de almidón durante la gelatinización y la segunda en la cual ocurre la recristalización de la amilopectina, en la fase de enfriamiento, lo que conlleva a una disminución de la transmitancia, del mismo modo la agregación de las cadenas de amilosa puede ser llevada a mayor velocidad a bajas temperaturas, lo cual disminuye drásticamente los valores de transmitancia, así como la baja capacidad de absorción de agua, el tiempo de almacenamiento probablemente por la retrogradación de las muestras también es responsable de el descenso del porcentaje de transmitancia. Por tanto estas modificaciones del almidón no tuvieron efecto en retrasar el fenómeno de retrogradación cuando los geles se almacenaron a temperatura de refrigeración.

Entre los almidones nativos y granulares solubles en agua fría, se encontraron diferencias en el % de transmitancia a temperatura ambiente, siendo

el almidón granular soluble en agua fría el que mostró valores de transmitancia constantes al transcurrir el tiempo en estudio, lo que le confiere una baja tendencia a la retrogradación, es importante señalar que con esta modificación se da la introducción de pequeñas cantidades de grupos sustituyentes, que generan el debilitamiento de los gránulos de almidón, estabilizando las dispersiones y previniendo el alineamiento y retrogradación de las moléculas, favoreciendo la formación de geles suaves que no experimentan sinéresis (Bello y col., 2002a; Amani y col., 2005). Del mismo modo, cabe destacar que el almidón de maíz presentó una alta tendencia a la retrogradación durante las 24 horas, manteniéndose estable después de este período de almacenamiento.

Resultado similar fue encontrado por Bello y col. (2002) y Bello y col. (2000) al estudiar las propiedades químicas y funcionales del almidón granular y acetilado de plátano (*Musa paradisiaca* L.), donde los almidones modificados presentaron menor tendencia a la retrogradación (% T= 6% y % T= 5% durante el tiempo en estudio, respectivamente), asegurando que por medio de la modificación se logra obtener almidones estable a la retrogradación a temperatura ambiente, sin embargo, el almidón de maíz granular soluble en agua fría a temperatura ambiente tuvo una alta tendencia a la retrogradación, luego de 24 horas de almacenamiento, asegurando los autores que dicho comportamiento es debido posiblemente a la distribución de la longitud de las cadenas y la fuente de procedencia del almidón.

No obstante, Amani y col. (2005), al evaluar la estabilidad y claridad de las pastas de almidones nativos, obtenidos a partir de cinco cultivares de *D. alata*, once cultivares de *D. cayenensis-rotundata*, un cultivar de *D. dumetorum* y cuatro clones de *D. esculenta*, mostraron mayor tendencia a la retrogradación, pues se evidenció la disminución en los valores de transmitancia por efecto del almacenamiento en refrigeración no sólo se debe a la gelificación de las moléculas de amilosa liberadas a partir de los gránulos durante la gelatinización, sino que también está determinada por la recristalización de la amilopectina.

Del mismo modo Paés y col. (2008) y Schmitz y col. (2006) en almidones de yuca, quienes luego de 72 horas de tratamiento obtuvieron valores de transmitancia cercanos al 10%, observaron un comportamiento directamente proporcional entre la temperatura y el % de transmitancia, esto podría ser explicado por la disminución de los gránulos con la temperatura de gelatinización que genera un aumento de la luz transmitida, lo que determina que el almidón de yuca tiene menor tendencia a retrogradar.

Singh y Singh, (2007) observaron algunas características del almidón de maíz, reportando que el % de transmitancia de maíz varía con la variedad, estos valores de las suspensiones de almidón se incrementó con el tiempo durante el almacenamiento a 4 °C, asegurando los autores que este comportamiento es atribuido a la interacción de varios factores como, la solubilidad de gránulo, remanente de gránulos, exudación y la longitud de las cadenas de amilosa y amilopectina, así como la substitución por el entrecruzamiento.

Cabe destacar que los valores de transmitancia del almidón de topocho son moderados, se debe considerar que la claridad de la pasta es característica de calidad, ya que da brillo y opacidad al color del producto, por tanto estos almidones obtenidos del fruto de topocho se podrían utilizar en alimentos que no requieren transparencia como geles de frutas, pudines, rellenos para postres y espesantes para sopas.

4.4.2.5. - Estabilidad al congelamiento y deshielo de los almidones.

En general, la estabilidad al congelamiento – deshielo de los almidones de topocho se incremento con la modificación (tratamiento alcohólico-alcalino), tal como se puede observar en la Figura 14. Los almidones de topocho (AL:TO1; ALN:TO2), presentaron una baja estabilidad al congelamiento debido a la gran cantidad de agua que eliminó durante los cuatros ciclos de congelamiento-deshielo.

Del mismo modo se puede apreciar que los almidones de topocho granulares (ALG:TO) presentaron mayor estabilidad que los almidones nativos, dado que eliminaron el nivel más bajo de agua durante el tercer y cuarto ciclo de congelamiento- deshielo (7 y 6% respectivamente), resultado atribuible a que cuando se prepararon estos almidones, posiblemente se generó una despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina generando moléculas más lineales. Por tanto, es factible que se haya presentado un

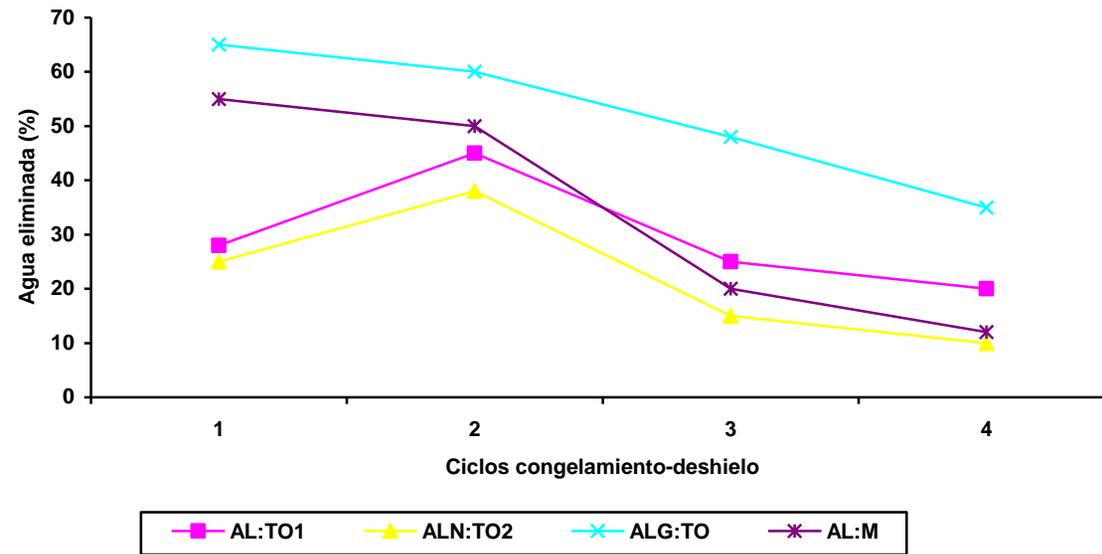


Figura 14. Estabilidad al congelamiento y deshielo para el almidón nativo, pregelatinizado, granular de topocho y almidón de maíz comercial.

fenómeno de agregación gradual de las cadenas lineales formando una malla que disminuyó la cantidad de agua separada, esto probablemente se deba a la integridad de los gránulos hinchados que no se dispersan completamente, dando lugar a la formación de un gel resistente a la sinéresis, sin embargo la separación del agua de los geles durante la congelación se incrementa con el tiempo, causado por la reorganización y dispersión del gel de almidón provocado por el crecimiento y desintegración de cristales de hielo, donde el agua es expulsada de las asociaciones inter e intramoleculares generando un gel rico en almidón y un líquido pobre en almidón (Baker y Rayas, 1998).

Resultado similar a los reportados en ésta investigación fueron encontrados por De la Torre y col. (2008); Bello y col. (1998) y Waliszewski y col. (2003) en almidones nativos de plátano los cuales presentan una tendencia alta a la sinéresis y una baja estabilidad en refrigeración, mientras que Bello y col. (2002) al estudiar almidones granulares de plátano, encontraron que los almidones modificados a partir del tercer y cuarto ciclo el porcentaje de agua separada fue muy bajo, lo que muestra una alta estabilidad de estos en comparación con los almidones nativos, resultado similar al de Chen y Jane (1994) al estudiar almidones granulares de maíz. Dicho comportamiento es atribuible a la integridad de los gránulos de almidón hinchado que no se dispersan totalmente.

El comportamiento de los almidones estudiados en esta investigación señala que pueden ser utilizados en alimentos que requieran refrigeración, siempre que se realice modificación química como es el caso de los almidones

de topocho granulares en agua fría, que de acuerdo a su comportamiento reológico estipula que pueden usarse como aditivos para postres congelados o como espesantes para sopas, dada su elevada estabilidad, por lo cual se seleccionó para la elaboración de los geles de mora.

4.5 Perfil Amilográfico:

En el cuadro 9, se muestra el comportamiento reológico de las suspensiones para las muestras de harina, almidón nativo y granular de topocho, a una concentración del 5%, mientras que, en las figuras 15, 16, 17 y 18 se observan las curvas amilográficas para cada una de las muestras mencionadas.

En este estudio, la suspensión de la harina de topocho (HA:TO) tiene una temperatura inicial de gelatinización (TIG) de 72,5 °C a los 5,40 minutos, ligeramente menor que la suspensión de almidón pregelatinizado (AL:TO1) cuyo valor de TIG fue de 74,4 °C a los 6,0 minutos y el TIG del almidón nativo (ALN:TO2) fue de 74,5 °C a los 6,10 minutos, mientras que para el almidón granular de topocho (ALG:TO) la temperatura inicial de gelatinización fue mayor encontrándose en 76,5 °C a los 6,15 minutos.

Evidenciándose un menor grado de asociación intragranular en la harina, ya que requieren menor energía para debilitar las interacciones intra e intergranulares de la amilosa y amilopectina en el interior del gránulo de almidón, mientras que el comportamiento del almidón granular pudiera ser un

Cuadro 9. Perfiles de gelatinización, medidos con el viscoamilógrafo Brabender, expresados en unidades Brabender, de las harinas (HA:TO), almidones pregelatinizados (AL:TO1), almidones nativos (ALN:TO2) y granulares (ALG:TO) de Topocho (*Musa ABB*).

Parámetros	HA:TO	AL:TO1	ALN:TO2	ALG:TO
Viscosidad inicial (UB)	0	0	0	0
A= Temperatura inicial gel (°C)	72,5	74,5	74,7	76,5
B= Viscosidad máxima (UB)	1105	889	889	1011
C= Viscosidad a 95°C (UB)	1001	889	883	978
D= Viscosidad a 95°C x5 min. (UB)	926	844	840	926
E= Viscosidad a 50°C (UB)	1028	1180	1178	1298
F= Viscosidad a 50°C x 1 min. (UB)	1071	1250	1240	1377
Breakdown (B-D) (UB)	179	45	49	85
Setback (E-D) (UB)	102	336	338	372

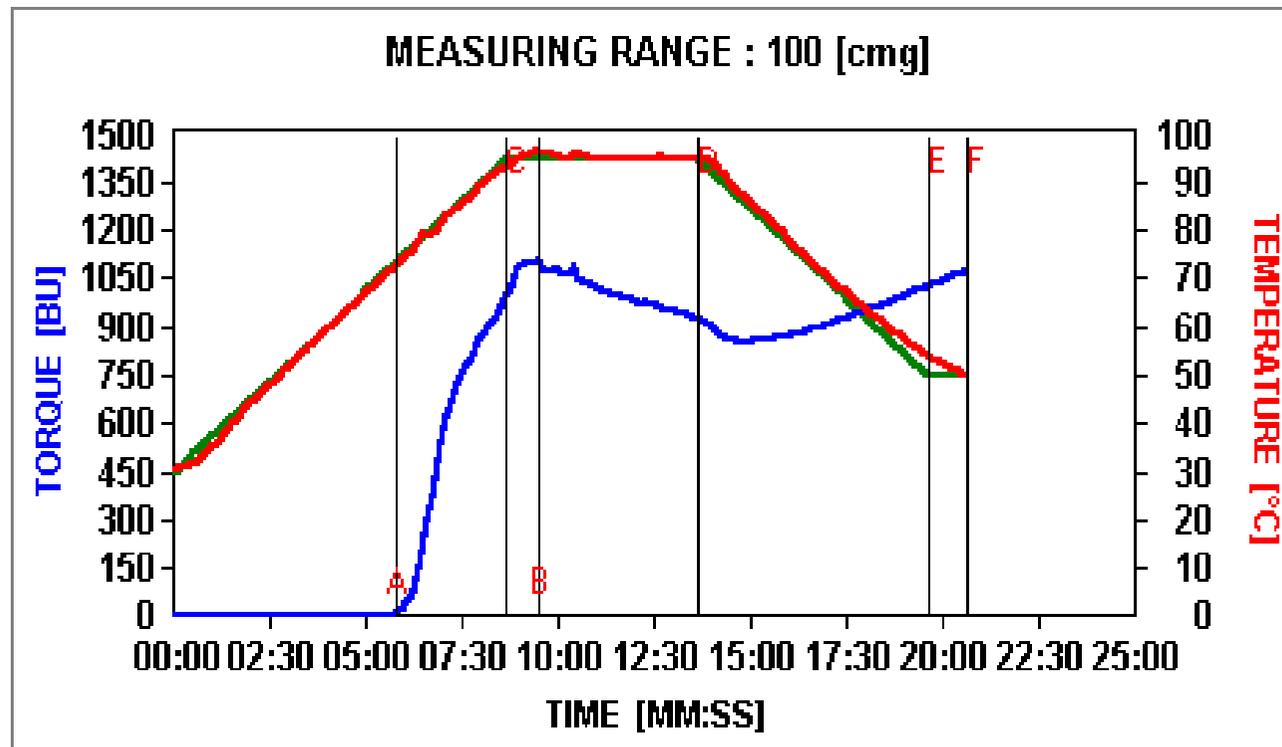


Figura 15. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de harina de topocho al 5%.

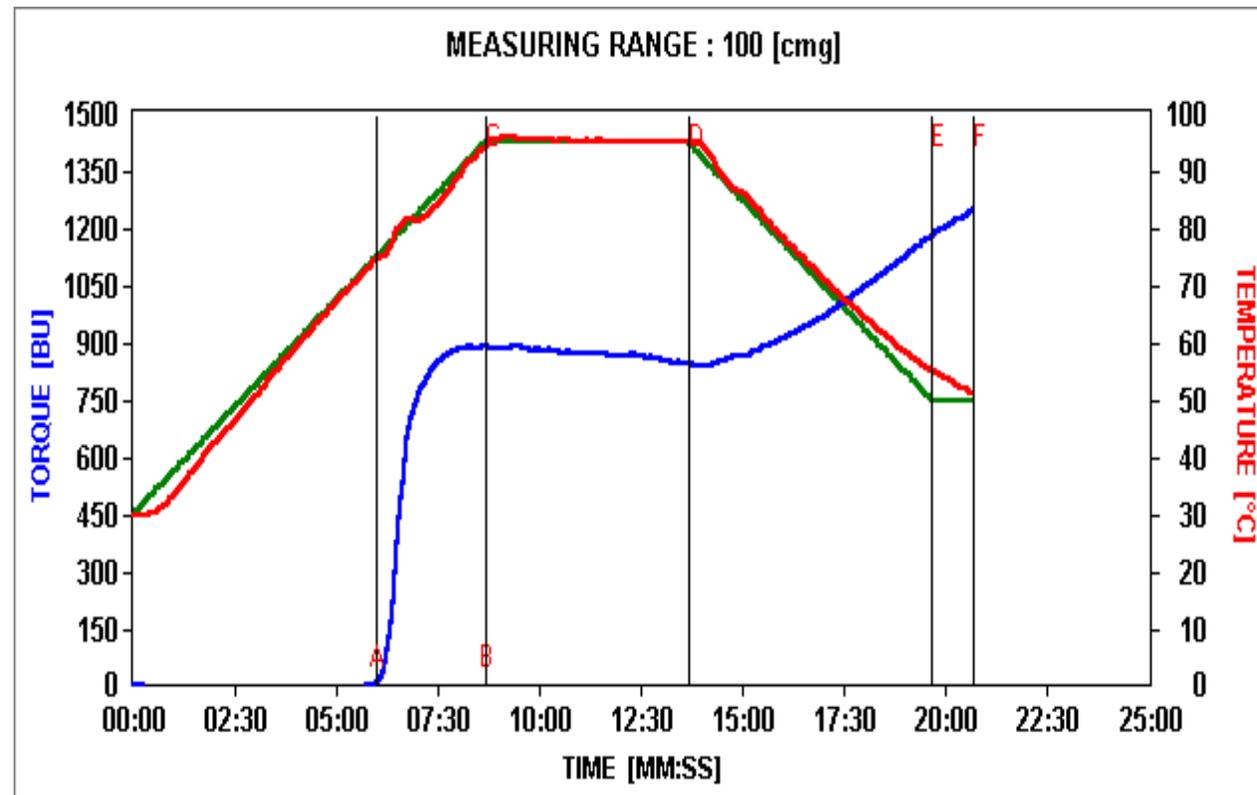


Figura 16. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón pregelatinizado de topocho al 5%.

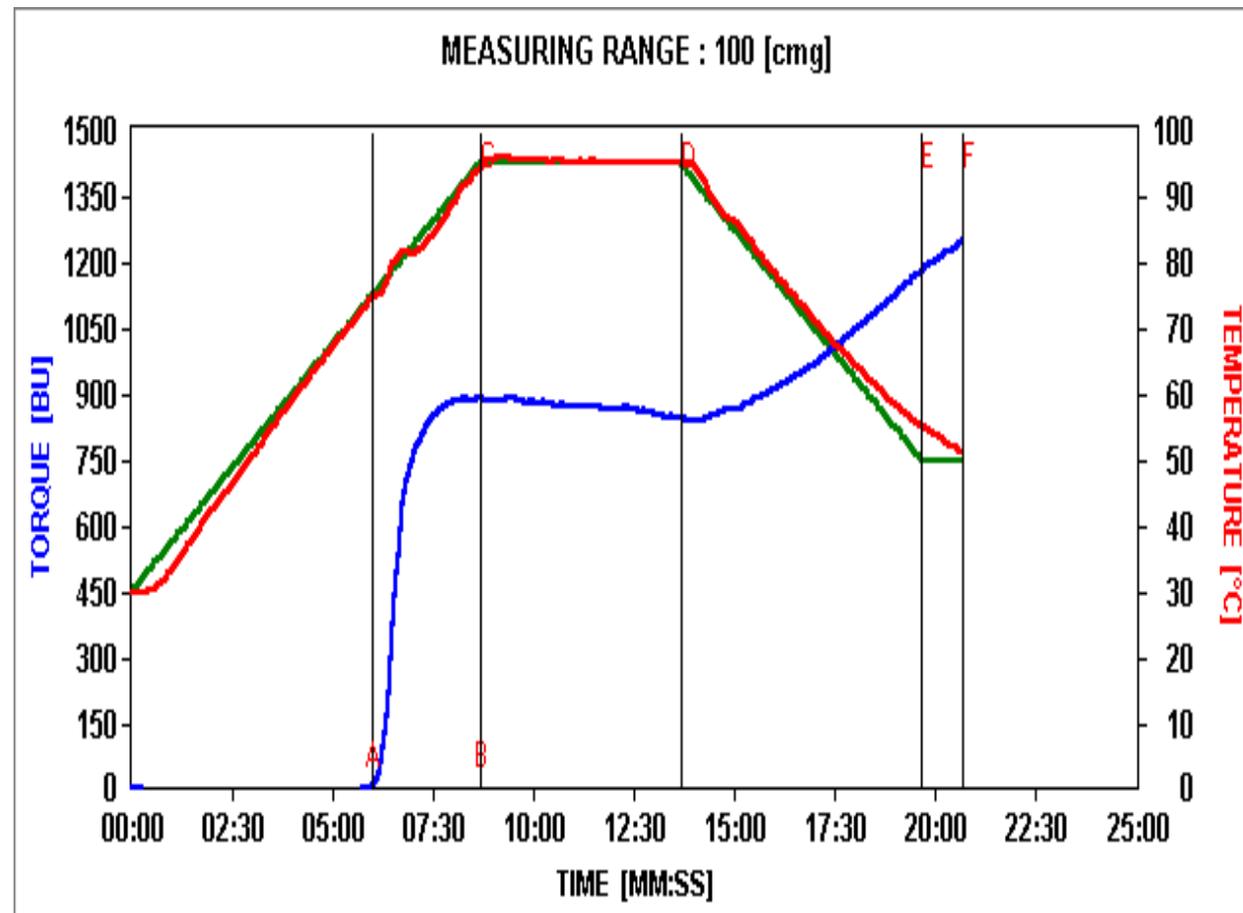


Figura 17. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón nativo de topocho al 5%.

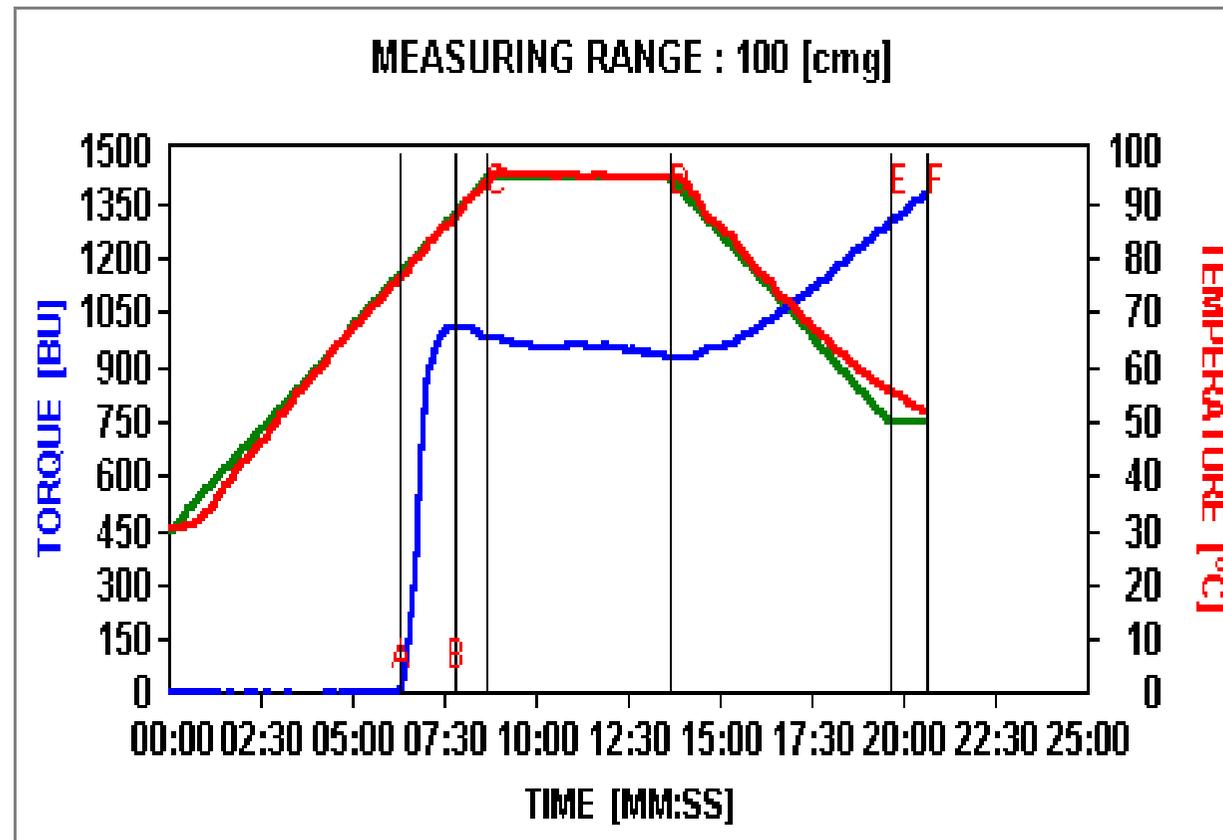


Figura 18. Curva amilográfica obtenida para una suspensión de almidón granular de topocho al 5%.

reflejo del posible reordenamiento ocurrido a nivel intragranular por acción de la modificación química (tratamiento alcohólico-alcalino) que genera un fortalecimiento de las interacciones intra e intergranulares de la amilosa y amilopectina, así como a la relación amilosa/amilopectina ya que los almidones con un mayor contenido de amilosa requieren de una mayor temperatura para dar inicio al proceso de gelatinización, debido a que el ingreso de agua al gránulo se dificulta, producto del alto grado de orden intragranular, además el tamaño del gránulo y el peso molecular de las moléculas de almidón también es un factor que afecta la temperatura inicial de gelatinización, de igual forma la movilidad intragranular y la proporción de cadenas de amilopectina de gran longitud, debido a que éstas pueden formar estructuras de doble hélice que requieren de una gran cantidad de energía para alcanzar la disociación (Zhou y col., 2002; Adebowale y col., 2005; Lewandowicz y col., 2000; Lewandowicz y Fornal, 1998; Singh y Singh, 2003).

Resultados similares a este estudio fueron encontrado por González y Pacheco, (2006) al estudiar el comportamiento reológico de la harina de banana verde, encontrando que la temperatura inicial de gelatinización es de 77 °C a 3,41 minutos el promedio reportado fue de 444,5 UB preparadas a una concentración del 6%, mientras que Araujo y col. (2004); González y Pérez, (2003) y Lewandowicz y col. (1997) al evaluar suspensiones de almidón de ñame, papa y maíz reportaron valores de temperatura inicial de gelatinización inferiores al de los almidones de topocho bajo estudio, los cuales estaban

comprendidos entre 61,9 y 73,2 °C, respectivamente, haciendo referencia a que este comportamiento se debe al fortalecimiento de las interacciones intra e intercadenas de la amilosa y amilopectina.

La máxima viscosidad (B) fue observada en la harina de topocho a 96,2 °C y 9,05 minutos de 1105 UB; seguida por el almidón granular cuyo valor se encontró en 1011 a 87,6 °C y 7,45 minutos, mientras que en el almidón pregelatinizado y nativo fue de 889 UB a 94, 3°C y 8,40 minutos (Figura 15, 16, 17 y 18); lo que hace suponer que la suspensión del almidón nativo y pregelatinizado de topocho no es de muy fácil cocción debido a la fragmentación y desintegración de la estructura intragranular, ocurrida durante los procesos de modificación a los que éstos fueron sometidos. De acuerdo a los resultados, se puede concluir que los gránulos de la suspensión de almidón de harina y almidón granular, tienen mayor capacidad de hinchamiento, lo cual se corresponde con la mayor capacidad de absorción de agua obtenida y por ende una mayor disrupción granular, produciéndose más componentes lixiviados hacia el medio circundante y una mayor viscosidad en la pasta formada.

Al comparar los resultados obtenidos con los determinados para pastas de plátano reportaron Da Mota y col. (2000) Y Pacheco y col. (2008) que los valores característicos para otras harinas de plátano de diferentes variedades oscila entre 383 y 718 UB similar al obtenido en este estudio, del mismo modo Pérez, (1997) al estudiar el almidón nativo de plátano al 8%, encontró que éste mostró una mayor viscosidad durante la cocción que el almidón de maíz,

resultado atribuible a la resistencia de los mismos a la fragmentación mecánica, por lo que se puede decir que en la harina y en el almidón granular de topocho predomina una mayor cantidad de enlaces débiles y un menor grado de cristalinidad y por lo tanto, gránulos muy frágiles que se destruyen rápidamente; en cambio, los gránulos de almidón pregelatinizado y nativo de topocho, son menos frágiles y se destruyen con menor facilidad.

Durante el tiempo en el cual la temperatura se mantuvo a 95°C por 5 min, la viscosidad del sistema disminuyó gradualmente alcanzando 926 UB en la harina y almidón granular de topocho y para el almidón pregelatinizado y nativo de 844 y 840 UB respectivamente, (Cuadro 9). Esto es debido posiblemente a que las moléculas de almidón solubles se orientan en la dirección en la cual es agitado el sistema, originándose una disminución en la viscosidad, fenómeno conocido como "Shear Thining" (Bou Rached y col., 2006).

En el Cuadro 9, se observan también los valores de Estabilidad (Breakdown), en la harina este valor fue superior que el almidón granular, almidón nativo y este al pregelatinizado. Esto confirma nuevamente la mayor capacidad de hinchamiento que tienen los gránulos almidón nativo y granular de topocho, su menor estabilidad durante la cocción, lo cual se ve reflejado al mostrar una marcada disminución de la viscosidad una vez alcanzado el valor máximo (Figura 15, 16, 17 y 18). De ello se puede inferir que los gránulos son muy frágiles y se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad en el

sistema. Esta fragilidad se observa más pronunciadamente en la harina de topocho, sus gránulos se destruyen más fácilmente ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas, indicando que las fuerzas de enlaces entre los gránulos de almidón no son tan fuertes.

Por otra parte, se produjo un aumento en la viscosidad al final del período de enfriamiento (E) y al final del proceso (F) para cada una de las suspensiones de los almidones en estudio siendo mayor en el almidón granular (Cuadro 9). Este nuevo y gradual incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento es debido a que se restablecen los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, así como a la reasociación lineal que adquieren las moléculas de amilosa que fueron liberadas por los gránulos durante el calentamiento, dando lugar a la consistencia tipo gel, además se debe a la pérdida de calor en el sistema y al proceso de retrogradación que se genera. El incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento indica una tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidalmente - y molecularmente – dispersas) para asociar o retrogradar, mientras la temperatura de la pasta disminuye (Singh y col., 2003).

La diferencia de la viscosidad a 50° C (E) con respecto a la máxima viscosidad (B) es denominado Asentamiento o Setback, para el caso de la harina de topocho este valor resultó mucho menor (102 UB) que en el almidón

nativo y pregelatinizado (338 y 336 UB, respectivamente) evidenciándose en estos últimos que el contenido de amilosa (nativo 45,90% y pregelatinizado 45,13%) le confiere una mayor tendencia a retrogradar, mientras que para el almidón granular el setback fue mayor (372 UB), lo que revela que este último presenta una mayor tendencia a la retrogradación cuando la temperatura disminuye, por lo que se puede inferir que se debe a que este tipo de modificación alcohólica-alcalina, favorece la incorporación de grupos hidroxilo a las moléculas de almidón, que permiten su reasociación bajo un nuevo orden cristalino cuando ocurre el enfriamiento de las suspensiones gelatinizadas, es decir, que ha ocurrido la despolimerización de la moléculas de amilosa, ocasionando el acortamiento de las cadenas de la misma, lo cual favorece el fenómeno de retrogradación (Chen y Jane, 1994; Bello y col., 2002; Rou Bached y col., 2006; Hernández y col., 2004).

Cabe destacar que el comportamiento de los geles formados a partir del almidón granular de topocho solubles en agua fría, a pesar de que éstos muestran una elevada tendencia a incrementar su viscosidad en el enfriamiento y a experimentar el fenómeno conocido como retrogradación, muestran una gran suavidad y elasticidad, que impide la sinéresis o exudación de agua del gel, a pesar de la extensión del fenómeno de retrogradación.

Comportamiento similar a los almidones bajo estudio fue reportado por Pérez, (1997) en almidones de plátano el setback fue menor que el almidón de maíz, del mismo modo Rincón y col. (2000) y Jayakody y col. (2007), cuyo

setback en almidones de ñame osciló entre 60 y 350 UB, mientras que en almidones de maíz este osciló entre 141 y 821 UB (Singh y Singh, 2007; Lu y col., 2008) encontrándose por encima que los reportados en este trabajo de investigación, hecho que es atribuible a la reasociación de las moléculas de amilosa en forma paralela, como consecuencia de la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de dichas moléculas, propiciando la formación de agregados de baja solubilidad, permitiendo así la formación de un gel rígido, susceptible de experimentar sinéresis.

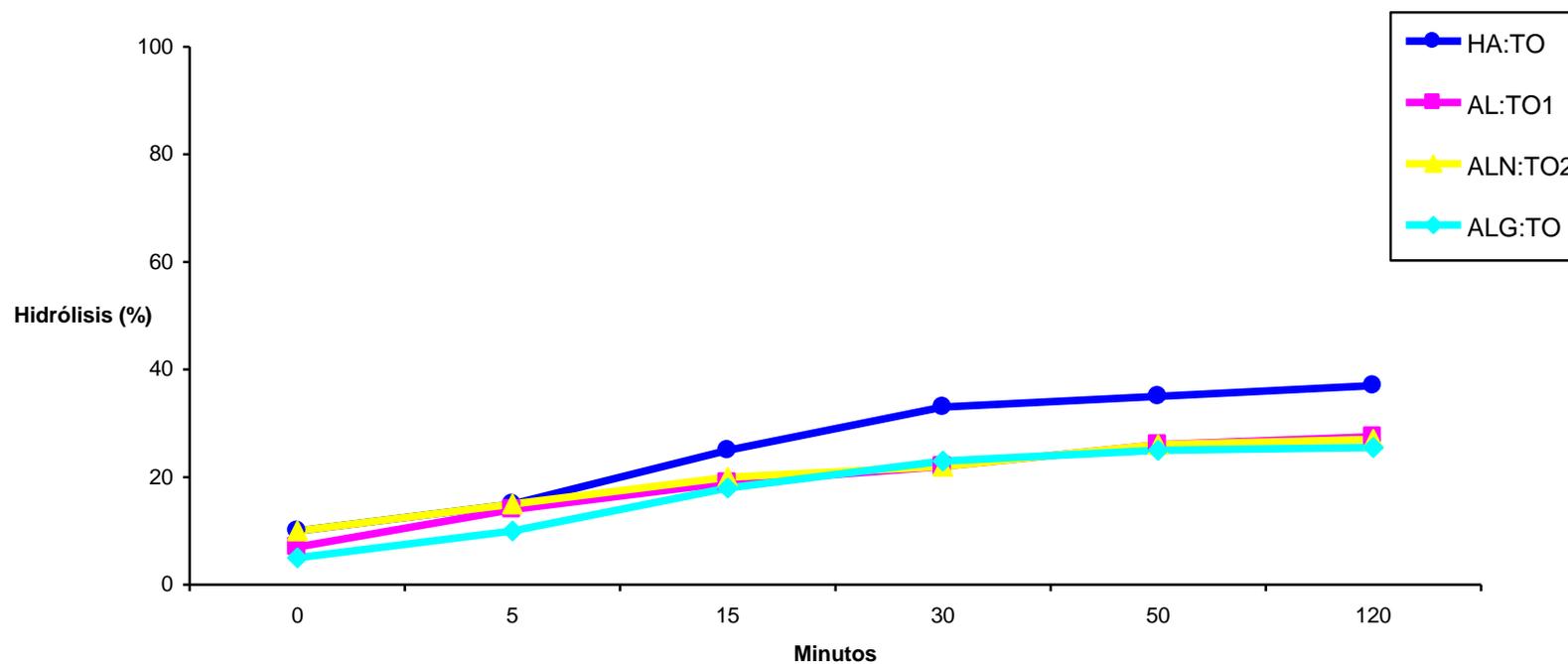
4.6. Digestibilidad *in vitro* del la harina, almidón nativo, pregelatinizado y granular de topocho.

En vista de que la tasa y extensión del proceso de digestión del almidón, y que el contenido de almidón resistente en los alimentos, puede afectar cierto número de funciones fisiológicas e incluso generar ciertos efectos beneficiosos sobre la salud, en términos generales, se considera que la determinación de la velocidad de la hidrólisis *in vitro*, tiende a ser un elemento útil para la predicción por ejemplo, de la respuesta glucémica postprandial, reducción de la secreción de insulina y lípidos en la sangre que inducen los alimentos (Woleve y Brand., 1995; Osorio y col., 2004; Asp y col., 1996; Cassidy y col., 1994; Pacheco, 2001), por ello se evaluó la proporción de almidón de topocho capaz de ser hidrolizado por la acción de la enzima α -amilasa fúngica, para determinar la tasa de digestión de la harina y de cada uno de los almidones bajo estudio.

En la Figura 19 se muestra el comportamiento de la harina, del almidón nativo, pregelatinizado y granular de topocho verde frente a la hidrólisis enzimática por la α -amilasa fúngica. Se observa que durante 2 horas sólo se hidrolizó un 37 % de la harina, 27,5 % de el almidón nativo y un 27 % de el pregelatinizado, mientras que el almidón granular la hidrólisis fue menor de 27%, lo cual sitúa a las muestras en estudio como alimentos amiláceos de digestión lenta, confirmando lo investigado por Englyst y col. (1992) y Pacheco y col. (1998) que afirman que el almidón de musácea verde es resistente a las enzimas amilolíticas.

Para el caso de la harina, del almidón nativo, pregelatinizado y granular de topocho (Figura 19), la curva muestra un aumento progresivo de la tasa de hidrólisis que luego de los 60 minutos ésta se hace prácticamente constante, este comportamiento sugiere que la enzima α -amilasa fúngica, aún después de 1 hora de incubación no fue capaz de incrementar su actividad y provocar la ruptura de un número importante de enlaces glucosídicos, siendo ésta disminución más evidente en el almidón granular soluble en agua fría, confirmandose que la modificación por medio del tratamiento alcohólico-alcalino provocó cambios en la estructura química de las moléculas que constituyen el almidón, incrementando su resistencia a la hidrólisis enzimática.

La baja tasa de hidrólisis del almidón tanto para la harina como para los almidones de topocho, fue menor que la señalada por Pacheco, (2001) y Pacheco



HA:TO Harina de Topocho
ALN:TO2 Almidón Nativo de Topocho
AL:TO1 Almidón Pregelatinizado de Topocho
ALG:TO Almidón Granular de Topocho soluble en agua fría.

Figura 19. Digestibilidad *in vitro* de la harina, almidón nativo, pregelatinizado y granular de topocho.

y col. (1998) para harina de plátano verde a los 60 y 120 minutos la cual osciló entre 38 y 48 %, por lo que se podría inferir que el proceso de preparación de la harina y de los almidones de topocho incluyendo su molienda y tamizado, no contribuyó al deterioro extenso de la estructura del almidón, liberando los gránulos de cualquier impedimento físico para su digestión por las enzimas amilolíticas (Tovar y col., 2002).

Los resultados expuestos en esta investigación son menores a los reportados por Osorio y col. (2002) y Vargas y col. (2006) en harinas y almidones nativos de leguminosas, cuya tasa de hidrólisis se encontró entre 70 y 80% para la harina y para el almidón de 23 a 34 %, de igual forma por Arasaratnam y col. (1998) y Farhat y col. (2001) en harinas y almidones nativo de maíz se hidrólizo entre 30 y 60%, del mismo modo Yu y col. (1999) y Jayakody y col. (2007) quienes al evaluar almidones nativos ñame encontraron que el porcentaje de hidrólisis, luego de dos horas de tratamiento, variaba desde 40 hasta 80%, mientras que Hernández y col. (2008) en almidones de papa y maíz la tasa de digestibilidad *in vitro* fue menor (entre 5 y 8%) a la reportada en este estudio, evidenciándose, que la diferencia de la digestibilidad *in vitro* de almidones de diferente fuente botánica, esta influenciada por el procesamiento de los alimentos y del almacenamiento, además la integridad de la célula vegetal, es decir, la forma y el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, la longitud de la molécula de almidón, el grado de asociación intramolecular, el grado de cristalinidad y la formación de complejos lípidos-amilosa que hace más lenta la digestión del almidón, debido a que es una barrera física a la gelatinización, disminuyendo la sensibilidad a la hidrólisis

enzimática (Tovar y col., 2005; Jayakody y col., 2007; Zhang y col., 2005; Pacheco, 2001).

Los almidones de topocho granulares presentaron baja tasa de hidrólisis, lo cual es atribuible al tipo de modificación (tratamiento alcohólico-alcalino) ya que ésta ocurre en la región amorfa de los gránulos permaneciendo las cristalinas relativamente intactas, produciendo cadenas lineales las cuales favorecen al fenómeno de retrogradación y este a su vez a la formación de almidón resistente a la hidrólisis enzimática, aunado a esto el alto contenido de amilosa de las muestras también es determinante (Aguirre y col., 2007; Aparicio y col., 2005; Franco y col., 2002; Tovar y col., 2005)

4.7.- Pruebas de Estabilidad de los geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho (*Musa ABB*), comparados con almidón de maíz, almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C).

En vista de que los almidones de topocho, permiten obtener un gel suave y elástico, resistente a la sinéresis y estable a temperaturas de refrigeración dadas sus propiedades funcionales, se planteó el estudio de geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho.

Los análisis de °Brix, pH, Acidez Titulable y viscosidad aparente para evaluar la estabilidad de las muestras de geles de mora espesados con almidón de topocho nativo con CMC (AN:CMC) y sin CMC (AN:SCMC); almidón de topocho granular con CMC (AG:CMC) y sin CMC (AG:SCMC) y

almidón de maíz comercial (AMAZ), se evaluaron durante 10 días, cabe destacar que dichos análisis se realizaron para las muestras almidón nativo con y sin CMC, así como el almidón de maíz comercial hasta el día 5 después de su almacenamiento, debido a que los geles presentaron una notable tendencia a la sinéresis.

En la Figura 20, están señalados los valores de ° Brix de los geles de mora almacenados a temperatura de refrigeración (4 °C), en la cual se refleja el comportamiento de los °Brix durante el tiempo de estudio mencionado, siendo similares en todas las formulaciones. En relación a la variable tiempo se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en las formulaciones evaluadas. Encontrándose para los geles espesados con almidón de topocho y maíz un valor de ° Brix que oscila entre 33,5 y 38,5. Dicho comportamiento es atribuible a la alta capacidad de retención de agua que experimentan estos almidones, lo cual permite establecer que los ° Brix de los geles es un parámetro que permanece prácticamente invariable con el tiempo, lo cual lo hace un factor importante a nivel de comercialización de los mismos.

En la Figura 21, están señalados los valores de pH en los geles de mora almacenados a temperatura de refrigeración, en la cual se refleja el comportamiento del pH durante el tiempo de estudio mencionado, uniforme en todas las formulaciones. En relación a la variable tiempo se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

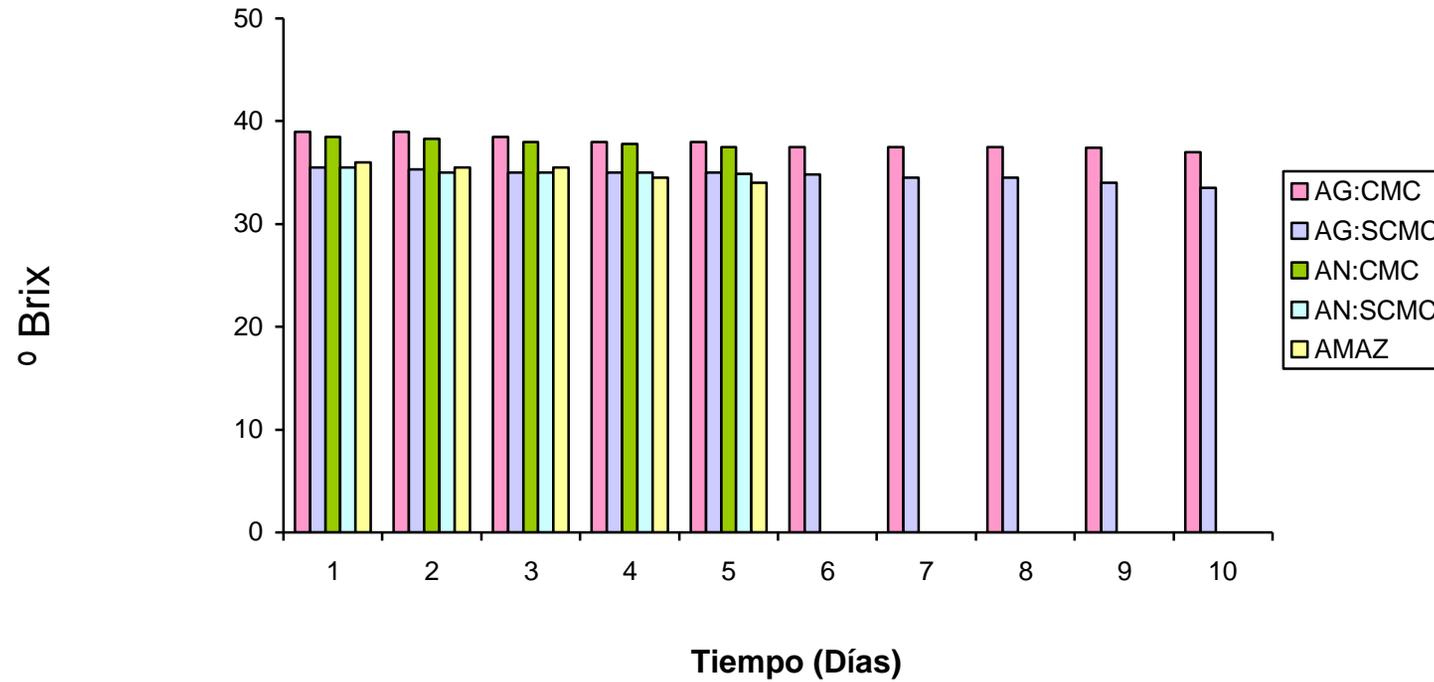


Figura 20. Comportamiento de ° Brix durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.

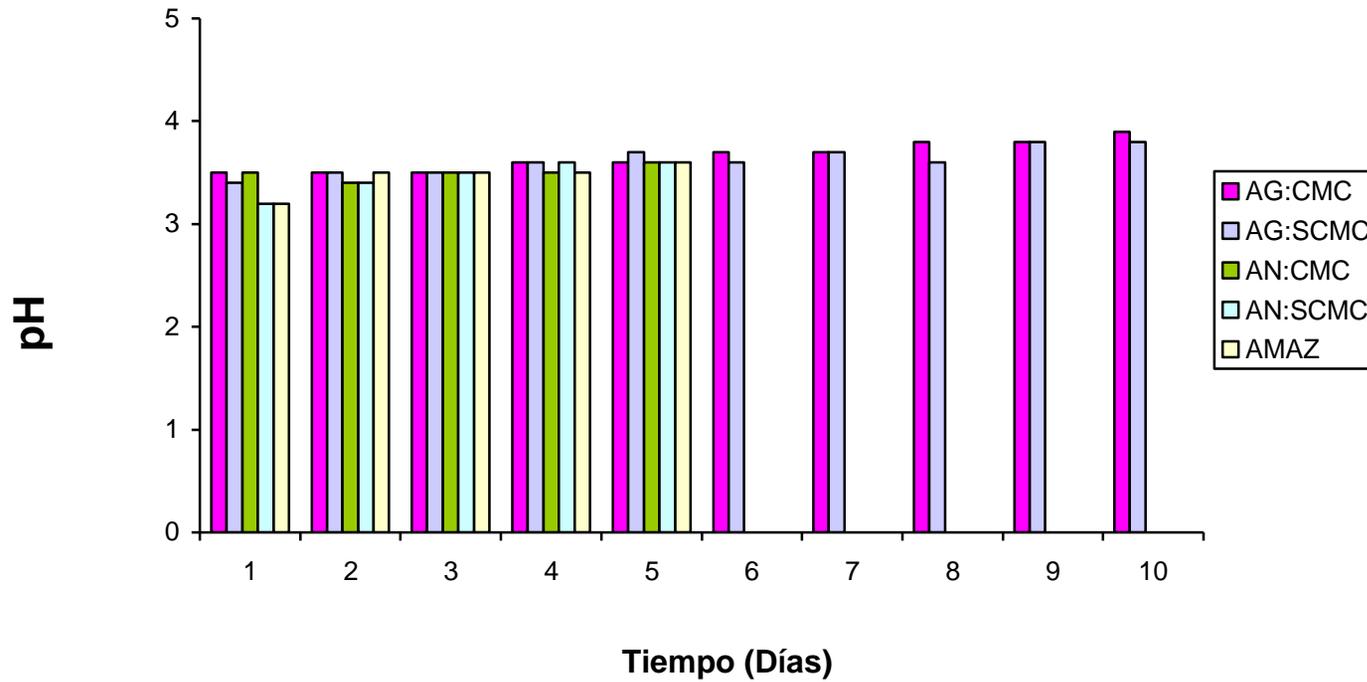


Figura 21. Comportamiento de pH durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.

en las formulaciones evaluadas. Encontrándose para los geles espesados con almidón de topocho y maíz valores de pH que oscilan entre 3,4 y 3,9; observándose que al transcurrir el tiempo de almacenamiento el pH no manifestó variación, lo que permite decir que las muestras estudiadas presentan una gran estabilidad al ser almacenados en temperatura de refrigeración.

En el Cuadro 10, están señalados los valores de acidez titulable expresados en mg de ac. Cítrico/ 100 ml de muestra para los geles de mora almacenados a temperatura de refrigeración, en el cual se refleja el comportamiento de la acidez titulable durante el tiempo de estudio mencionado, similar en todas las formulaciones. En relación a la variable tiempo se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en las formulaciones evaluadas. Encontrándose para los geles espesados con almidón de topocho un valor de acidez que oscila de 237,8 a 236 mg ac. Cítrico/ 100 ml de muestra, lo que permite inferir que los geles muestran una alta estabilidad al ser almacenados en temperatura de refrigeración, lo que es cónsono con los resultados de los parámetros pH y °Brix, observándose que al transcurrir el tiempo no se generó la exudación del agua del gel y por tanto no se produjo el incrementó de agua disponible en la superficie de los geles lo que evitó el desarrollo de microorganismo.

Es importante señalar que los geles de mora espesados con almidón de topocho nativo con y sin CMC, así como el almidón de maíz presentaron sinéresis

Cuadro 10. Comportamiento de la Acidez expresada en mg ácido Cítrico/100 ml de muestra, durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz

Tratamiento / Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AG:CMC	237,0	237,0	237,0	237,0	237,1	236,9	236,8	236,6	237,0	236,0
AG:SCMC	237,8	237,5	237,0	237,2	237,5	237,1	236,9	236,8	236,9	237,0
AN:CMC	237,0	237,7	237,9	237,5	237,3	–	–	–	–	–
AN:SCMC	237,3	237,2	237,5	237	236,7	–	–	–	–	–
AMAZ	237,8	237,5	236,9	237,0	236,9	–	–	–	–	–

AG:CMC Gel de mora espesado con almidón modificado de topocho y carboximetilcelulosa (CMC).

AG:SCMC Gel de mora espesado con almidón modificado de topocho.

AN: CMC Gel de mora espesado con almidón nativo de topocho y carboximetilcelulosa (CMC).

AN:SCMC Gel de mora espesado con almidón nativo de topocho.

AMAZ Gel de mora espesado con almidón de maíz.

_ no se realizaron los análisis por presencia de sinéresis.

después del día 5, mientras que González y Pacheco, (2006) reportaron que después de 2 días de su formulación se evidenció la presencia de sinéresis, por lo que se puede inferir que los almidones de topocho proporcionan un gel más estable al almacenamiento en refrigeración (4 °C).

En la Figura 22, están señalados los valores de viscosidad aparente para los geles de mora almacenados a temperatura de refrigeración, en la cual se refleja el comportamiento de la viscosidad durante el tiempo de estudio mencionado. En relación a la variable tiempo se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en las formulaciones evaluadas. Por medio de la prueba de Tukey aplicadas a las medias de la variable viscosidad, se formaron estadísticamente tres grupos, el (a) conformado por AG:CMC y AG:SCMC con los valores más alto de viscosidad (75 a 65 Pas), el grupo (b) formado por AN:CMC y AN:SCMC con valores de viscosidad que oscilan entre 70 y 68 Pas, y un grupo (c) con el valor más bajo de viscosidad (60 a 65 Pas) correspondiente a AMAZ, observándose una disminución de la variable viscosidad a medida que transcurre el tiempo de estudio.

Resultados similares fueron encontrados por Chen y Jane, (1994b) al estudiar almidones de maíz granulares solubles en agua fría y con un alto contenido de amilosa mostraron viscosidades mayores que la de sus almidones nativos cuyo valor osciló entre 70 y 60 Pas, mientras que Alvis y col. (2008) reportaron una viscosidad en los almidones de yuca, ñame y papa menor que los

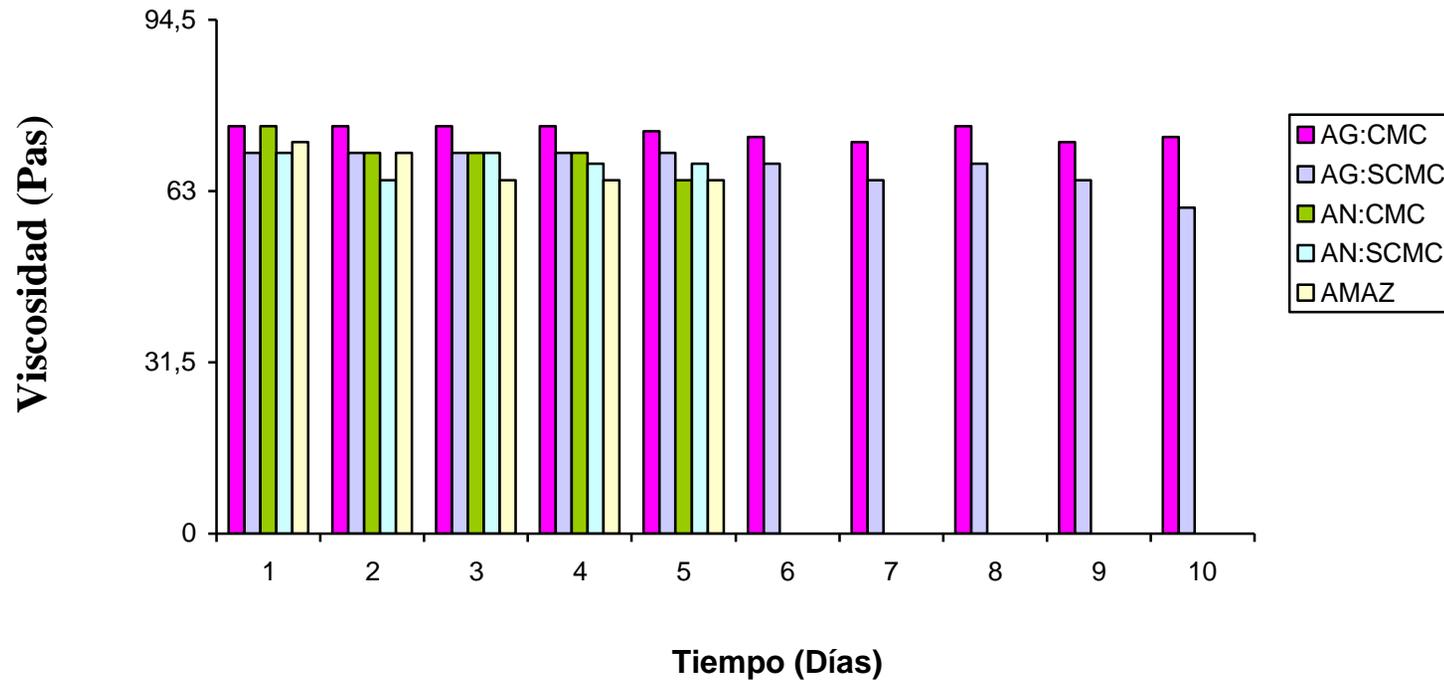


Figura 22. Comportamiento de la viscosidad durante el tiempo de almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.

reportados en este estudio, del mismo modo Navarro y col. (2007) reportaron igual comportamiento para almidones de ñame como estabilizante en la elaboración de yogurt entero tipo batido, diferencia atribuible a la variedad botánica de los almidones.

Cabe destacar que los geles espesados con AG:CMC presentó el mayor valor de viscosidad como era de esperarse que el almidón nativo, debido a la modificación química aplicada, esta respuesta, se relaciona con las características funcionales de alta tasa de absorción de agua del almidón (23,89 g agua/g almidón) y poder de hinchamiento (24,89 g agua/g muestra seca), que de acuerdo al análisis de correlación lineal resultaron directamente proporcionales al incremento de la temperatura para la formación del gel del almidón a causa de las fuerzas asociativas débiles entre los gránulos, que permitió aumentar la fuerza micelar para ligarse al agua, favoreciendo consecuentemente la solubilidad del almidón y la formación del gel, observadas por la alta estabilidad de la viscosidad en el producto terminado, lo que evidencia que las modificaciones químicas, en general, incrementa la viscosidad confiriéndole una gran estabilidad a temperatura de refrigeración en el transcurso del tiempo, cabe destacar que, si bien la carboximetilcelulosa contribuye a la formación del gel, el almidón granular de topocho también permite la formación del gel con valores de viscosidad aceptables, no obstante al comparar los resultados con los geles de mora espesados con AMAZ este último presentó menor viscosidad, lo que permite afirmar que el almidón granular de topocho presenta propiedades funcionales que permiten la formación de geles con una mayor estabilidad en el tiempo.

En general estos resultados se asocian a lo explicado por Beleia y col. (2006) al indicar que la viscosidad tiende a ser una característica propia de todos los polisacáridos solubles, debido a que estos forman soluciones viscosas que, dependiendo de la forma, el tamaño y de la conformación de la molécula en la disolución, tienden a presentar una mayor o menor consistencia, como consecuencia del volumen efectivo que ocupen las moléculas. Probablemente también esté relacionado a las bajas temperaturas de gelatinización, que se promueve no sólo por el tamaño del gránulo de almidón, sino quizás por la presencia de los contenidos de fibra, lípidos y azúcares que limitan la rápida formación de la red micelar (Aryee y col., 2006; Jayakody y col., 2005).

4.8.- Color en los geles de mora espesados con almidón nativo y modificado de topocho (*Musa ABB*) y almidón de maíz.

En vista de que el color está relacionado con las cualidades sensoriales y que es uno de los factores que define la calidad del producto final, se procedió a realizar dicha evaluación en los geles de mora espesados con almidón de topocho.

En el Cuadro 11, se observan las mediciones de color obtenido en los geles de mora espesados con almidón nativo y granular de topocho (*Musa ABB*), y almidón de maíz, almacenados a temperatura de refrigeración (4°C). Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos, el análisis de varianza detectó

Cuadro 11. Valores promedio para el índice de luminosidad (L) y de cromaticidad (a y b), obtenidos para los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho (*Musa ABB*) y almidón de maíz.

Tratamiento / Parámetro	L	a	b	ΔE
AG:CMC	21,17 ± 0,03 ^a	4,56 ± 0,07 ^e	0,565 ± 0,77 ^d	71,62 ± 0,41 ^d
AG:SCMC	20,52 ± 0,01 ^d	5,96 ± 0,03 ^c	1,07 ± 0,03 ^c	72,38 ± 0,65 ^a
AN:CMC	20,88 ± 0,28 ^b	6,07 ± 0,02 ^b	1,07 ± 0,03 ^c	72,05 ± 1,01 ^c
AN:SCMC	20,74 ± 0,01 ^c	5,91 ± 0,03 ^d	1,09 ± 0,13 ^b	72,16 ± 0,65 ^b
AMAZ	20,91 ± 0,30 ^b	6,86 ± 0,10 ^a	1,37 ± 0,03 ^a	72,09 ± 0,01 ^{bc}

AG:CMC Gel de mora espesado con almidón modificado de topocho y carboximetilcelulosa (CMC).

AG:SCMC Gel de mora espesado con almidón modificado de topocho.

AN: CMC Gel de mora espesado con almidón nativo de topocho y carboximetilcelulosa (CMC).

AN:SCMC Gel de mora espesado con almidón nativo de topocho.

AMAZ Gel de mora espesado con almidón de maíz.

* Calibrado con la placa estándar, con valores de L = 92,59, a = -0,80 y b = 0,65. $\Delta E^2 = L^2 + a^2 + b^2$

Nota: Tratamientos con iguales letras en una misma columna horizontal indican que entre ellos no existe diferencias significativas para un nivel de significación de 0,05.

diferencias significativas al 5% entre cada uno de los tratamientos obtenidos en relación a los parámetros de *L*, *a* y *b*.

En cuanto al comportamiento del parámetro Luminosidad (*L*), en los geles de mora espesados con AG:CMC; AG:SCMC; AN:CMC; AN:SCMC y AMAZ, se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) en las formulaciones evaluadas. Por medio de la prueba de Tukey aplicadas a las medias del parámetro luminosidad, se formaron estadísticamente cuatro grupos el (a) conformado por los geles de mora espesados con almidón granular de topocho y carboximetilcelulosa (AG:CMC), éste con el valor más alto de luminosidad (21,17%), el grupo (b) formado por los geles de mora espesados con almidón granular de topocho sin carboximetilcelulosa (AG:SCMC) con (20,91%) de luminosidad y los geles espesados con almidón nativo de topocho y carboximetilcelulosa (AN:CMC) con un valor de (20,88%) , el (c) constituido por los geles de mora espesados con almidón nativo sin carboximetilcelulosa (AN:SCMC) con un valor de luminosidad de (20,77%) y un grupo (d) con el valor más bajo de luminosidad (20,52%), observándose que este parámetro presentó un comportamiento similar para todas las muestras estudiadas, lo cual es bastante lógico ya que, la utilización de la mora como ingrediente principal en la formulación, así como el uso de almidones de topocho los cuales presenta un claridad de las pastas más bajo en comparación con el almidón de maíz, sin embargo cabe destacar que el parámetro de luminosidad en los tratamientos está influenciado en gran parte por color del fruto utilizado.

En cuánto al comportamiento del parámetro a , se observa en el Cuadro 11, que en todas las formulaciones se presentan valores positivos, lo cual indica que los geles de mora siguen una tendencia hacia el rojo. Al realizar el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas, hecho que lo confirma la prueba de media de Tukey, al agrupar las formulaciones en cinco grupos donde se evidencia que los geles de mora espesados con AMAZ tiende más hacia el rojo, en comparación con los geles de mora espesados con AN:CMC; AN:SCMC; AG:CMC y AG:SCMCs presentando los menores valores, lo cual indica que tienden menos hacia el rojo, lo cual es aceptable debido al uso tanto del almidón nativo como el modificado de topocho en el cual podrían estar presentes compuestos fenólicos, el cual causa un oscurecimiento relativo en las pastas de almidón.

En lo que respecta al parámetro b , al realizar el análisis de varianza, este arrojó que existen diferencias significativas, se observa que todos los tratamientos se encuentran en una escala positiva, siendo los geles de mora espesados con AMAZ el que tiende más hacia el amarillo por reflejar el mayor valor, mientras que las formulaciones AN:SCMC; AN:SCMC; AG:CMC y AG:SCMC son menos amarillas por presentar valores de b menores, lo cual confirma que los almidones nativos y modificados de topocho presentan una baja claridad de las pastas, por lo que se requiere que se utilicen para elaborar alimentos donde el color no se vea afectado y disminuya la calidad del mismo. .

Al calcular el valor de ΔE , se determinó la magnitud de la diferencia de color existente entre la muestra de geles de mora y la placa estándar, presentando una diferencia relativamente alta para los tratamientos AG:CMC; AG:SCMC; AN:CMC; AN:SCMC y AMAZ, con un valor de ΔE que oscila entre a 72,38 a 73,62; respecto a la placa estándar. Observándose una tendencia menor hacia el color blanco de los geles de mora elaborados, esto debido a que en la mora se encuentran una serie de pigmentos tales como antiocianinas los cuales contribuyen al color, además de estar presente los almidones de topocho los cuales presenta baja claridad de las pastas.

4.9.- Evaluación Sensorial de los Geles de Mora espesados con almidón nativo y modificado de topocho (*Musa ABB*) y almidón de maíz.

En el Cuadro 12, se encuentran los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizada a las tres formulaciones. Al efectuar la prueba no paramétrica de Friedman, se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a color, olor, preferencia global, sabor y textura, lo que significa que los geles de mora, fueron igualmente preferidas por los catadores.

Con respecto a la textura en el Cuadro 12, se observa que existen diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas luego de aplicar la prueba de Friedman. Basadas en la comparación de medias se puede afirmar que los geles de mora espesados con almidón de topocho granular soluble en agua fría (GAG) fue la más preferida de todas, seguida de los geles mora espesados

Cuadro 12. Evaluación sensorial de los geles de mora espesados con almidón nativo, modificado de topocho y almidón de maíz.

MUESTRAS			
ATRIBUTO	GAG	GAN	GAMAZ
COLOR	4,68 ± 0,85 a	4,22 ± 0,37 a	4,10 ± 0,48 a
OLOR	4,76 ± 0,83 a	4,16 ± 0,37 a	4,26 ± 0,43 a
SABOR	4,56 ± 0,76 a	4,36 ± 0,50 a	3,40 ± 0,50 a
TEXTURA	4,80 ± 0,40 a	4,14 ± 0,50 b	4,06 ± 0,72 c
APARIENCIA GLOBAL	4,72 ± 0,45 a	4,04 ± 0,43 a	3,94 ± 0,47 a

GAG Gel de mora espesado con almidón granular soluble en agua fría de topocho.

GAN Gel de mora espesado con almidón nativo de topocho.

GAMAZ Gel de mora espesado con almidón de maíz.

Nota: Tratamientos con iguales letras en una misma fila indican que entre ellos no existe diferencias significativas para un nivel de significación de 0,05.

con almidón nativo de topocho (GAN) y por último los geles de mora espesados con almidón de maíz (GAMAZ). Estos resultados muestran que el almidón aislado del topocho es altamente competitivo a nivel comercial con el almidón de maíz en la formulación de geles de mora.

Resultados similares fueron encontrados por González y Pacheco, (2006), los cuales encontraron que los geles de piña elaborados a base de harina de banano fueron preferidos por todos los panelistas, concluyendo los autores que la harina de banana verde puede ser utilizada como espesante en alimentos pues presentan propiedades funcionales competitiva a nivel comercial con el almidón de maíz. Del mismo modo Morales y col. (2000) estudiaron la calidad nutricional de yogurt elaborados con leche descremada y extracto estéril de garbanzo, al realizar la evaluación sensorial de los yogures, señalaron que una proporción de leche y garbanzo de 80:20 con la adición de almidón de maíz modificado, fueron más preferidas.

Navarro y col. (2007) evaluaron el comportamiento del almidón de ñame espino como estabilizante en la elaboración de yogurt entero tipo batido, al realizar la evaluación sensorial señalan que, la adición del almidón en 0,6 % fue la menos preferida que el yogurt control.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La harina de topocho es fuente de almidón, amilosa y fibra dietética con valores promedios de 72,07%; 31,69 y 7,69% respectivamente, y un bajo contenido de grasa (0,42%).
- ✓ Los almidones nativos y granulares de topocho, mostraron un alto contenido de almidón y amilosa de 98,99%; 97,74% y 45,90%; 40,16% respectivamente.
- ✓ Los rendimientos obtenidos de la pulpa de topocho en harina y almidón nativo fueron superiores a los rendimientos en los procesos de obtención de los dos tipos de almidones modificados ya que requieren de fases de lavado y purificación más intensas, lo que se traduce en mayores pérdidas de material amiláceo.
- ✓ La modificación química para la obtención de almidones granulares mediante un tratamiento alcohólico-alcalino, le confiere propiedades funcionales importantes a éste, logrando así mejorar la claridad de las pastas y estabilidad cuyo valor de transmitancia osciló de 1,69 a 3,69%, confiriéndole menor tendencia a la retrogradación, y aumento a la estabilidad al congelamiento-deshielo ya que se eliminó en el tercer y cuarto ciclo de un 7 y 6% respectivamente, por lo que tienen un uso potencial en alimentos instantáneos, aditivos para postres congelados y espesantes para sopas.

- ✓ La harina, los almidones nativos y granulares de topocho, presentaron un comportamiento de digestibilidad *in vitro* del almidón similar, donde se evidenció una baja tasa de hidrólisis de 37; 27,5; 27 y 25,5 %, respectivamente; situando a estos como un alimento amiláceo de digestión lenta.

- ✓ Para las pruebas durante el almacenamiento de los geles de mora espesados con almidón de topocho, se evidenció que los ° Brix (33,5 a 38,5), el pH (3,4 a 3,9), la acidez (237,8 a 236 mg ac Cítrico/100 ml de muestra) y la viscosidad (75 a 65 Pas), no mostraron una variación estadísticamente significativa en comparación con el almidón de maíz comercial durante los cinco primeros días de estudio, posterior a ello los geles presentaron sinéresis.

- ✓ Los geles de mora más preferidos según la evaluación sensorial fue el espesado con almidón granular de topocho, seguida por los geles espesados con almidón nativo y por último los geles espesados con almidón de maíz comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEDO, A; DATA, S; QUEVEDO, A. 1996. Genotypic variation in quality and self-life of fresh roots of Phillipine sweet potato grown in two plaint seasons. *Journal Science Food and Agriculture* 72:209-212.
- ADEBOWALE, K; AFOLABI, T; LAWAL, O. 2002. Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. *Food Chemistry* 78:305-311.
- ADEBOWALE, K. Y LAWAL, O. 2003. Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *Journal Science Food Agriculture* 83: 1541-1546.
- ADEBOWALE, K; OLU-OWOLABI, B; OLAWUMI, E; LAWAL, O. 2005. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. *Industrial and Crops Products* 21: 343-351.
- AGBOOLA, S; AKINGBALA , J; OGUNTIMEIN, G. 1991. Physicochemical and functional properties of low DS cassava starch acetates and citrates, *Starch/ Stärke* 43:62–66.
- AGUIRRE, A; BELLO, L; GÓNZALEZ, R; ALVAREZ, A. 2007. Modificación química del almidón presente en la harina de plátano macho (*Musa Paradisiaca* L.) y su efecto en el contenido de fibra dietética. IX Congreso

De Ciencia De Los Alimentos Y V Foro De Ciencia Y Tecnología De Alimentos. Universidad de Guanajuato. México.

ALVES, R; GROSSMAN, M; SILVA, S. 1999. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. Food Chemistry 67: 123-127.

ALVIS, A; VÉLEZ, C; VILLADA, H; MENDOZA, R. 2008. Análisis Físico Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. Información Tecnológica 19(1): 19-28.

AMANI, N.; KAMENAN, A.; ROLLAND-SABATÉ, A. Y COLONNA, P. 2005. Stability of yam starch gels during processing. African Journal of Biotechnology 4 (1): 94-101.

ANDERSON, R. 1982. Water absorption and solubility and amilograph characteristics of roll-cooked small grain products. Cereal Chemistry 59: 265-269.

APARICIO, A; FLORES, E; TOVAR, J; GARCÍA, F; GUTIÉRREZ, G; BELLO, L. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. Starch/ Stärke 57: 405-412.

- APARICIO, A; FLORES, E; GARCÍA, F; BELLO, L. 2006. Caracterización térmica y funcional de almidón resistente obtenido por linterización y autoclave a partir de almidón de plátano macho. IX congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos.
- ARAUJO, C; RINCÓN, A; PADILLA, F. 2004 Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(2): 241-245.
- ARAYA, H; CLAVIJO, C; HERRERA, C. 2006. Capacidad antioxidante de frutas y verdura cultivadas en Chile. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(4): 361-365.
- ARYEE, F; ODURO, I; WO, E; AFUAKWA, J. 2006. The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. Food Control 17: 916-922.
- ASP, N; BJÖCK, I. 1992. Resistant Starch. Trends in Food Science and Technology 3:111–114.
- ASP, N; VAN AMELSVOORT, M; HAUTVAST, J. 1996. Nutritional implications of resistant starch. Nutrition Research 9: 1-31.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1995, 2000.

Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA.

ATICHOKUDOMCHAI, N; SHOBSNGOB, S; VARAVINIT, S. 2000.

Morphological properties of acid-modified tapioca starch. *Starch/Stärke* 53: 283-289.

BAGLEY, E; CHRISTIANSON, D. 1982. Swelling capacity of starch and its

relationship to suspension viscosity-effect of cooking time, temperature, and concentration. *Journal of Texture Studies* 13:115–126.

BELEIA, A; BUTARELO, S; SERGIO, R; SILVA, F. 2006. Modeling of starch

gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Food Science and Technology* 39(4): 400-405.

BELLO, L; AGAMA, E; SANCHEZ, L; PAREDES, O. 1999. Isolation and partial

characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 854-857.

BELLO, L; CONTRERAS, S; JIMENEZ, A; PAREDES, O. 2000. Acetylation and

characterization of banana (*Musa paradisiaca* L) Starch. *Acta Científica Venezolana*. 51: 143-149.

BELLO, L; CONTRERAS, S; ROMERO, R; SOLORZA, J; JIMENEZ, A. 2002.

Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Macero). *Agrociencia*. 36: 169-180.

BELLO, L; GONZALEZ, R; SANCHEZ, M; GUTIERREZ, F; VARGAS, A. 2006.

Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. *Agrociencia* 40: 441-448.

BELLO, L; PANO DE LEON, Y; AGAMA, E; PAREDES, O. 1998. Isolation and

partial characterization of amaranth and banana starches. *Starch/Stärke* 50: 409–413.

BELLO, L; PAREDES, O. 1999. El almidón: lo comemos pero no lo conocemos.

Ciencia 50(3): 29-33.

BELLO, L; SAYAGO, S; VILLAGOMEZ, J; MONTIEL, L. 2000. Almidón de

plátano y calidad sensorial de dos tipos de galletas. *Agrociencia* 34: 533-560.

BEMILLER, J. N. 1997. Starch modification: Challenges and prospects.

Starch/Stärke 49: 127–130.

BENITEZ, B; ARCHILE, A; RANGEL, L; FERRER, K; BARBOZA, Y;

MARQUEZ, E. 2008. Composición Proximal, evaluación microbiológica y

sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia* 3 (1): 61- 65.

BJÖRCK, I. y ASP, N. 1994. Controlling the nutritional properties of starch in foods: A challenge to the food industry. *Trends in Food Science and Technology* 17: 591–599.

BLADWIN, P. M. 2001. Starch- granule associated proteins and polypeptides a review. *Starch / Stärke* 53: 475-503.

BLAZEK, J; SALMAN, H; LOPEZ, A; GILBERT, E; HANLEY, T; COPELAND, L. 2008. [Structural characterization of wheat starch granules differing in amylose content and functional characteristics](#). *Carbohydrate Polymers*, In Press.

BOU RACHED, L; VIZCARRONDO, C; RINCÓN, A, PADILLA, F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos latinoamericanos de Nutrición* 56 (4): 375-383.

BROUNS, F; KETTLITZ, B; AMGOMI, E. 2002. Resistant starch and the butyrate revolution. *Food Science and Technology* 13: 251-261.

BRYANT, C Y HAMAKER, B. 1997. Effect of time on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry* 74: 171-175.

- BULÉON, A, COLONNA, P; PLANCHOT, V; BALL, S. 1998. [Starch granules: structure and biosynthesis](#). International Journal of Biological Macromolecules 23(2): 85-112.
- CARRANZA, J; SÁNCHEZ, M. 2002. CINÉTICA DE SECADO DE *Musa paradisiaca* L. "PLÁTANO" Y *Manihot esculenta* Grantz "YUCA". Revista Amazónica de Investigación Alimentaria 2(1): 15 – 25.
- CERQUEIRA, S; FOLEGATTI, M; MATSUURA, F; CARDOSO, R. 2004. Evaluation of dehydrated banana obtained from fruits of different genotypes. Pesquisa Agropecuária Brasileira.40 No.6.
- CHANG, S; LI, C; YANG, C. 1991. X-ray diffraction patterns of some Taiwan native starches. Bulletin of the Institute of Chemistry, Academia Sinica 38: 91–98.
- CHANG, Y; LIN, J. 2007. [Effects of molecular size and structure of amylopectin on the retrogradation thermal properties of waxy rice and waxy cornstarches](#). Food Hydrocolloids 21(4):645-653.
- CHAROENREIN, S; TATIRAT, O; MUADKLAY, J. 2008. [Use of centrifugation–filtration for determination of syneresis in freeze–thaw starch gels](#). Carbohydrate Polymers 73:(1, 4):143-147.

- CHEN, J. y J. JANE. 1994a. Preparation of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Cereal Chemistry* 71: 618-622.
- CHEN, J. y J. JANE. 1994b. Preparation of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Cereal Chemistry* 71: 623-626.
- CHESSON, A. 1995. Dietary fiber. *In: Food Polysaccharides and their Applications*. Macallister A. (ed). Marcel Dekker, Boerd, New York. pp: 559-560.
- CHIANG, B; CHUNG, W; CHU, L. 1987. A Pilot scale study for banana starch production. *Starch/Stärke* 1: 5-8.
- CHIUN, W; SHAN, W; LIH, L. 2001. The composition of taro mucilage and its effect on the physicochemical properties of taro flour and starch. *Journal Agriculture and Food Chemistry* 39: 291-297.
- CHOU, S; CHIANG, B; CHUNG, Y; CHEN, P; HSU, C. 2006. Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam. *Food Chemistry* 22(1): 618-623.
- COLEMAN, C. 1990. Applications of qualitative research for sensory analisis and product development. *Food Technology* 44(11): 164-174.

- COLLADO, L; CORKE, H. 1996. Use of Wheat-Sweet Potato Composite Flours in Yellow-Alkaline and White-Salted Noodles. *Cereal Chemistry* 73(4):439-444.
- COLONNA, P.; TAYEB, J y MERCIER, C. 1989. extrusion cooking of starch and starchy products. In: *Extrusion Cooking*. Ass Cereal Chemists. St Paul, Minnesata, USA. Pp: 247-319.
- CRAIG, S; MANINGAT, C; SEIB, P; HOSENEY, R. 1989. Satrch Paste Clarity. *Cereal Chemistry* 66 (3): 173-182.
- CRUZ, A.; BELLO, L.; GONZALEZ, R. y ALVAREZ, A. 2007. Modificación química del almidón presente en la harina de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) y su efecto en el contenido de fibra dietética. IX congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos.
- DA MOTA, R; LAJOLO, F; CIACCO, C; CORDENUNSI, B. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Stärke* 52: 63-68.
- DANDAMRONGRAK, R; YOUNG, G; MASON, R. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering* 55: 139-146.

- DARAMOLA, B; OSANYINLUSI, S. 2006. Production, characterization and application of banana (*Musa spp*) flour in whole maize. *African Journal of Biotechnology* 5 (10): 992-995.
- DE LA TORRE, L; CHEL, L; BETANCUR, D. 2008. Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. *Food Chemistry*. 106; 1138-1144.
- DEFLOOR, I; DEHING, I; DELCOUR, J. 1998. Physico-chemical properties of cassava starch. *Starch/Stärke* 50 (2-3):58-64.
- DELGADO, E.; PAIVA, R Y MARÍN, C. 2004. caracterización socioeconómica y tipológica de los pequeños productores de plátano (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón *Simmonds*). Caso: Municipio Obispo, Barinas. *Revista de la Facultad de Agronomía del Zulia (LUZ)* 21(1): 359-369.
- DELMONTE, L; RINCÓN, F; LEÓN, G; GUERRERO, R. 2006. Behavior of the gum from *Enterolobium cyclocarpum* in the preparation peach nectar. *Revista Técnica* 29(1):23-28.
- DELPRETTI, F; DALY, M; RODRÍGUEZ, L; ARRENDONDO, P; DÍAZ, E; DÍAZ, A. 2004. Respuesta clínica de un alimento a base de topocho-pescado en niños con diarrea aguada. *Archivos venezolanos de Puericultura y pediatría* 67(2): 75-80.

- ELLIS, R; COCHRANE, M; DALE, M; DUFFUS, C; LYNN, A; MORRISON, I.; PRENTICE, R; SWANSTON, J; TILLER, S. 1998. Starch production and industrial use. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77:289-311.
- ENGLYST, H; KIGMAN, S; CUMMINGS, J. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal Clinical Nutrition* 47: 285-296.
- FAERS, M; CHOUDHURY, T; LAU, B; MCALLISTER, K; LUCKHAM, P. 2006. [Syneresis and rheology of weak colloidal particle gels](#). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 288(1-3):170-179.
- FAISANT, N; BULEÓN, A; COLONNA, O; MOLIS, C; LARTIGUE, S; GALMICHE, J; CHAMP, M. 1995. Digestión of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. *British Journal of Nutrition* 73: 111-123.
- FAISANT, N; GALLANT, D; BOUCHET, B; CHAMP, M. 1995. Banana starch breakdown in the human small intestine studied by electron microscopy. *European Journal of Clinical Nutrition* 49: 98–104.
- FAOSTAT. 2006. Data base from Food and Agriculture Organization. Of the United Nations.

- FLORES, E; GARCÍA, F; HUICOCHEA, E; NUÑEZ, A; GONZÁLEZ, R; BELLO, L. 2004. Rendimiento del proceso de extracción del almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. Acta científica venezolana 55: 86-90.
- FORTUNA, T; JANUSZEWSKA, R; JUSZCZAK, L; KIELSKI, A; PALASINSKI, M. 2000. The influence of starch pore characteristics on pasting behaviour. International Journal of Food Science and Technology 35:285-291.
- FOX, B y CAMERON, A. 1997. Carbohidratos. *In*: Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud. Grupo Noriega editores, Eds. Limusa, S. A de C. V. México, D. F. pp: 35-43.
- FRANCO, C; CABRAL, R; TAVARES, D. 2002. Structural and physicochemical characteristics of lintnerized native and sour cassava starches. Starch/Stärke 54:469- 475.
- FREDRIKSSON, H; SILVERIO, J; ANDERSSON, R; ELIASSON, A; ÅMAN, P. 1998. [The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches.](#) Carbohydrate Polymers 35(3-4):119-134.
- FREITAS, R; PAULA, R; FREITOSA, J; ROCHA, S; SIERAKOWKI, M. 2004. Amilose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam

(*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. Carbohydrates Polymers 55: 3-8.

FRISON, E Y Sharrock, S. 1998. The economic, social and nutritional importance of banana in the World. Bananas and Food Security 21-35.

GALLANT, D; BOUCHET, B; BALDWIN, P. 1997. [Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization](#). Carbohydrate Polymers 32(3-4): 177-191.

GARCÍA, A; WALTER, W. 1998. Physicochemical characterization of starch from peruvian sweet potato selection. Starch/Stärke 50(8): 331-337.

GARCIA, A; JIMÉNEZ, A; MARTIN, N; BRAVO, L; SAURA, F. 1999. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch Food chemistry 66: 181-187.

GARCIA, M; MARTINO, M; ZARITZKY, N. 2000. Microestructural characterization of plasticized starch- based films. Starch / Stärke. 52: 118-124.

GARCIA, T; CHAPARRO, L; DURAN, L; AVILA, E; BARRIOS, B. 2007. Efecto del etefon (ethrel) y el tiempo del almacenamiento sobre la maduración del plátano (*Musa AAB cv Harton*) bajo refrigeración. Bioagro 19 (2): 91-98.

- GAYTAN, M; MARTINEZ, F; MORALES, E. 2000. Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50 (4): 366-373.
- GENOVESE, D; RAO, M. 2003. Role of starch granule characteristics (volume fraction, rigidity, and fractal dimension) on rheology of starch dispersions with and without amylose. Cereal Chemistry 80: 350–355.
- GIESE, K. 1995. Measuring physical properties of foods. Food technology 49(2): 54-63.
- GONZALEZ, E; GOMEZ, I. 2000. La producción de mora de castilla en el tachira. Revista de difusión de tecnología agrícola y pesquera del FONAIAP.
- GONZALEZ, O; PACHECO, E. 2006. Propiedades físicas y reológicas de la harina de banana verde (*Musa AAA*) en la elaboración de geles de piña (*Ananas comosus* L. Merr.) Rev. Fac. Agron. (Maracay) 32:27- 40.
- GONZALEZ, Z; PEREZ, E. 2003. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*manihot esculenta* crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. Acta Científica Venezolana 54 (2):127-137.

- GRANITO, M; TORRES, A; GUERRA, M. 2003. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia* 28 (7): 372- 379.
- GREBRE, T; SCHMIDT, P. 1996. Isolation and physicochemical properties of enset starch. *Starch /Stärke*. 48: 208-214.
- HADDAD, O; BORGES, F. 1971. Identificación de clones de banana (cambures y plátanos) en venezuela. *Agronomía tropical*. 21 (4): 277-278.
- HAPPI, B; PRADO, A; BERNARD, A; TCHANGO, B; PAQUOT A. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry* 103:590–60.
- HERNÁNDEZ, O; EMALDI, U; TOVAR, T. 2008. In vitro digestibility of edible films from various starch sources. *Carbohydrate Polymers* 71: 648–655.
- HERNÁNDEZ, M.; SALAZAR de M, E. y ALVÁREZ-MARTÍNEZ, L. 2005. Panificación con harinas compuestas de trigo (*Triticum vulgare*) y de ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*), procesadas por diversos métodos de secado. En: Las Aráceas comestibles: Ocumo y Taro.
- HIZUKURI, S; TAKEDA, S; YASUDA, M. 1981. Multi- branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydrates Research* 94: 205-209.

- HOLM, J; BJÖRCK, I; ASP, N; SJÖBERG, L. 1985. Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Science* 3: 193-206.
- HOOVER, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review, *Carbohydrate polymers* 45(3): 253-267.
- HOOVER, R; SOSULSKI, F. 1986. Effect of cross linking on functional properties of legume starches. *Starch/Stärke* 38: 149–155.
- HOUSSOU, P; AYEMOR, G. 2002. Appropriate processing and food functional properties of maize flour. *African Journal of Science and Technology* 3 (1): 126-131.
- HSIEH, F; GRENUS, M; HU, L; HUFF, H. 1993. Twin-Screw extrusion of Rice Flour with SALT and sugar. *Cereal Chemistry* 70 (5): 493-498.
- HSU, C; HURANG, S; CHEN, W; WENG, Y; TSENG, C. 2004. Qualities and antioxidant properties of bread as affected by the incorporation of yam flour in the formulation. *International Journal of Food Science and Technology* 39: 231-238.

- HUANG, D; ROONEY, L. 2001. Starches for snack foods. *Snack foods processing*. Eds. Lusas, E.W., Rooney, L. W. Lancaster, Pennsylvania. Technomic Publishing Company, Inc. 115-130 p.
- IMBERTY, A; PÉREZ, E. 1988. A revise to three-dimensional structure of B-type starch. *Biopolymers* 27: 1205-1027. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP). 1997. Annual Report 52-55.
- ISHIGURO, 2000. Retrogradation of potato starch. *Starch/Stärke* 8(1): 12-18.
- ISLAS, J, RENDÓN, R; AGAMA, E; GUTIERREZ, F; TOVAR, J; ARAMBULA, G; BELLO, L. 2006. In vitro digestion rate and resistant starch content of tortillas stored at two different temperaturas. *Food Science and Technology* 39 (8): 947-951.
- IWUOHA, C; ANYADIKE, A; EKE, O. 1997. The effect of flour – blending on the physico – chemical and sensory qualities of bread. *Journal science technology*.34 (4):311 – 315.
- JAMES; J. 1988. Functionality and nutritive value of composite plantain (*Musa paradisiaca*) fruit and glandless cottonseed flours. *Tropical Science* 28: 51-66.

JANE, J; SHEN, J. 1993. [Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization](#). Carbohydrate Research 247:279-290.

JANE, J; CHEN, J. 1992. effect of amylose molecular size and Branco Caín lenght on paste properties of starch. Cereal chemistry 69 (1): 60-65.

JANE, J; CRAIG, S; SEIB, P; HOSENEY, R. 1986. A granular cold water-soluble starch gives V-type X-ray diffraction pattern. Carbohydrate Research 150: C5–C6.

JANE, J; KASEMSUWAN, T; LEAS, S; ZOBEL, H; ROBYT, J. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. Starch/Stärke 46: 121-129.

JANE, J; SEIB, P; HOSENEY, C; CRAIG, S. 1985. Studies on cold water-swelling starch granules. Cereal Foods World 30(8): 557.

JAYAKODY, L; HOOVER, R. 2002. The effect of lintnerization on cereal starch granules. Food Research International 35(7):665-680.

JAYAKODY, L; HOOVER, R; LIU, Q; DONNER, E. 2007. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea spp.*) starches in Sri Lanka. Carbohydrate Polymers 10:1016-1023.

- JAYAKODY, L; HOOVER, R; LIU, Q; WEBER, E. 2005. Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. Food Research International 38(6):615-629.
- JENKINS, P; DONALD, A. 1998. Gelatinization of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study. Carbohydrate Research 308 (1-2):133-147.
- JENKIS, D; JERKIS, A; KENDALL, C; AUGUSTINE, L; VUKSAN, V. 2001. Dietary fibre, Carbohydrate metabolism and chronic disease. Advanced Dietary Fibre Technology:162-167.
- JIMENEZ, A; JIMENEZ, I; PULIDO, R; SAURA, F. 2001. Antioxidant activity of fresh and processed edible seaweeds. Journal of Science and Food Agriculture 81: 530–534.
- JUAREZ, E; AGAMA, E; SAYAGO, S; RODRIGUEZ, A; BELLO, L. 2006. Composition, Digestibility and Application in Breadmaking of Banana Flour. Plant Foods for Human Nutrition 61(3): 131-137.
- JULIANO, B. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal science Today 16 (10): 334-360.

- KALENGA, K; LAMERTINE, F; VANSOEST, P. 1990. Characterization of starch and fiber of banana fruit. *Journal of Food Science* 46: 1885-1990.
- KALT, W; FORNEY, C; MARTÍN, A; PRIOR, R. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal Agriculture Food Chemistry* 47: 4638-4644.
- KARATHANOS, V; VILLALOBOS, G; SARAVACOS, G. 1990. Comparison of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data. *Journal of Food Science* 55: 218- 223.
- KARIM, A; NORZIAH, M; SEOW, C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. *Review Food Chemistry*. 71:9-36.
- KARIM, A.; NADIHA, M.; CHEN, F.; PHUAH, Y.; CHUI, Y. Y FAZILAH, A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocoloide*. 22: 1044-1053.
- KARLSSON, M; MEEMAN, A; BJÖ RCK, I; ELIASSON, A. 2007. Some physical and nutrition characteristics ogf genetically modified potatoes varying in amylose/amylopectin ratios. *Food Chemistry* 100: 136-146.
- KASEMSUWAN, T; JANE, J. 1994. Location of amylose in normal starch granules. *Cereal Chemistry* 71: 282-289.
- KAUR, M; NARPINDER, S; KAWALJIT, F; HARMEET, S. 2004. Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of

starches separate from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Chemistry* 85: 131–140.

KAVITA, V; VERGHESE, S; CHITRA, G; PRAKASH, J. 1998. Effects of processing, storage time and temperature on the resistant starch of foods. *Journal Food Science Technology* 35 (4): 299 – 304.

KHATCHADOURIAN, H; SAWAYA, W; BAYOUMI, M. 1985. The chemical composition and rheological properties of flours milled from two major wheat varieties grown in Saudi Arabia. *Cereal Chemistry* 62 (5): 416-418.

KONG, X; BERTOFT, E; BAO, J; CORKE, H. 2008. [Molecular structure of amylopectin from amaranth starch and its effect on physicochemical properties](#)
International Journal of Biological Macromolecules 43(4):377-382.

KRIEGER, K; POLLAK, L; BRUMM, T; WHITW, P. 1998. Effects of pollination method and growing location on starch thermal properties of corn hybrids. *Cereal Chemistry* 75: 656-659.

LABOREM, G.; MARÍN, C.; WAGNER, M.; RANGEL, L.; ESPINOZA, M Y DELGADO ADALBERTO. 2001. Evaluación de los atributos de fruta de musáceas en su primer ciclo. *Agronomía Tropical* 51(4): 593-603.

- LAURENTIN, A; EDWARDS, C. 2005. Resistant starch and Noligosaccharides. Carbohidratos, 320-329.
- LAWAL, O; ADEBOWALE, K. 2005. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. Carbohydrate Polymers 60:331-341.
- LAWLESS, H y MICHELLE, C. 1993. Applications of the central dogma in sensory evaluation. Food Technology 47 (6): 139-146.
- LEONEL, M; SARMENTO, S; CEREDA, M. 2003. New starches food industry. *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. Carbohydrate Polymers 54: 385-388.
- LEWANDOWICZ, G Y FORNAL, J. 1998. Effect of microwave radiation on microstructure of tuber and cereal starches. [Polish Journal of Food and Nutrition Sciences](#) 7(48):85S-91S.
- LEWANDOWICZ, G; FORNAL, J; WALKOWSKI, A. 1997. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. Carbohydrate Polymers 34:213-230.
- LEWANDOWICZ, G; JANKOWSKI, T; FORNAL, J. 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. Carbohydrate Polymers 42:193-199.

LIGHT, J. 1990. Modified food starches: why, where and how. *Cereal foods World* 35:1081-1084.

LII, C; CHANG, S.; YOUNG, Y. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *Journal of Food Science* 47: 1493–1497.

LII, C; TOMASIK, P; HUNG, W; YEN, M; LAI, V. 2003. Granular starches as dietary fibre and natural microcapsules. *International Journal of Food Science Technology* 38: 677-685.

LIM, S; SEIB, A. 1993. Preparation and properties of wheat corn starches phosphates. *Cereal Chemistry* 76(6): 938-943.

LIU, H; RAMSDEN, L; CORKE, H. 1999. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch/Stärke* 51(7): 249-252.

LIU, H; YU, L; XIE, F; CHEN, L. 2006. [Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content](#). *Carbohydrate Polymers* 65(3):357-363.

LIU, Q., CHARLET, G., YELLE S, ARUL J. 2002. Phase transition in potato starch-water system I. Starch gelatinization at high moisture level. *Food Research International* 35: 397-407.

- LIU, Q; GU, Z; DONNER, E; TETLOW, I; EMES, M. 2007. Investigation of digestibility in vitro and physicochemical properties of A- and Btype starch from soft and hard wheat flour. *Cereal Chemistry* 84:15–21.
- LIU, Y; OCTAVIANI, V; ZHOU, W. 2008. [Effect of high pressure on some physicochemical properties of several native starches](#). *Journal of Food Engineering* 88(1):126-136.
- LÓPEZ, G; ROS, G; RINCÓN, F; PERAGO, M; MARTÍNEZ, C; ORTUÑO, J. 1997. Propiedades funcionales de la fibra dietética: Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal. *Archivos latinoamericanos de Nutrición* 47 (3): 203 – 207.
- LOPEZ, L. 2004. Manual de indicadores técnicos y agronómicos de frutas tropicales y principales cultivos de la región amazónica ecuatoriana. Quito-Ecuador.
- LUALLEN, TE. 1985. Starch as a functional ingredient. *Food Technology* 39(1): 59-63.
- MACHADO, S; DE QUEIROZ, J; LOPES, M; MILAGRES, F; PINHEIRO, H. 2007. Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition* 62:13–17.

- MALDONADO, R; PACHECO, E. 2003. Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae* L var. *Italica Plenck*) y coliflor (*Brassica oleraceae* L var. *Botrytis* L). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 20: 306-319.
- MALI, S; KARAM, L; PEREIRA, L; GROSSMANN, M. 2004. Relationships among the Composition and Physicochemical Properties of Starches with the Characteristics of Their Films. Journal Agricultural and Food Chemistry 52: 7720 -7725.
- MANRIQUE, N; GONZALEZ, R; OTHMAN, M; GARCIA, F; BELLO, L. 2007. Caracterización de mezclas de almidones de mango y plátano pregelatizados mediante diferentes condiciones de extrusión. Agropecuaria 41:637-645.
- MANUAL AGROPECUARIO. 2002. tecnologías Orgánicas de la Granja integral autosuficiente. Biblioteca del campo, Editores IBALPE. Santa fé Bogota, D.C. Colombia 811p.
- MARTIN, C; SMITH, A. 1993. Starch Biosíntesis. The Plant Cell 7: 971-985.
- MARTÍNEZ, F; LÓPEZ, J; ZAZUETA, J; MORALES, E. 2005. Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*). Agrociencia 39: 275-283.

- MAZUR, E; SCHOCH, T; KITE, F. 1953. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of the various starches. *Cereal Chemistry* 59: 265-269.
- Mc CREADY, R; GUGGIOLS, J; SILVEIRA, J; OWENS, H. 1950. Determination of starch and amylose in vegetable. *Analytical Chemistry* 22 (9):1156-1158.
- MEDINA, M Y PAGANO, F.2003. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 20: 72-86.
- MENDEZ, G; SOLORZA, J; VELASQUEZ, M; GOMEZ, N; PAREDES, O; BELLO, L. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- MENDOZA, R; TRUJILLO, Y; DURAN, D. 2007. Evaluación del almidón de ñame espino (*dioscorea rotundata*) como estabilizante en la elaboración de yogur entero tipo batido. *Bistua* 5 (2): 97-105.
- MEPBA, H; EBOH, L; NWAJOJIGWA, S. 2007. Chemical composition, functional and baking properties of wheat-platain composite flours. *African Journal of Food Agricultura Nutrition and Development* 7 (1): 25-34.

- MERCA, F; JULIANO, B. 1983. Physicochemical properties of starch of intermediate-amylose and waxy rice differing in grain quality. *Starch/Stärke* 33: 253-260.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y TIERRA. 2006. Dirección Estadística. Noticiero Agropecuario.
- MILES, M.; MORRIS, V.; ORFORD, P. Y RING, S. (1985). The roles of amylose and amylopectin in gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrates Research* 135: 271-281.
- MOJISOLA, E; LATEEF, S; ABIODUN, S. 2005. Evaluation of maize-soybean flour blends for sour maize bread production in Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 4 (9): 911-918.
- MONTOYA, A; LONDOÑO, J; MARQUEZ, C. 2005. Licor De Mora De Castilla (*Rubus Glaucus Benth*) Con Diferentes Porcentajes De Pulpa. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 58(2):2963-2973.
- MOORTHY, S. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches. *Starch/Stärke* 54: 559-592.
- MOORTHY, S; ANDERSSON, L; ELIASSON, A; SANTACRUZ, S; RUALES, J. 2006. Determination of amylose content of different starches using modulated differential scanning calorimetry. *Starch/Stärke* 58:209–214.

- MORALES, J; CASSIS, M; CORTES, E. 2000. Elaboración de un yogurt con base en una mezcla de leche y garbanzo (*Cicer arietinum*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50(1): 81-86.
- MORENO, M; VILORIA, A; LOPEZ, E; BELÉN, D. 2002. Estabilidad de antocianinas en jugos pasteurizados de mora (*Rubus glaucus* Benth). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52 (2): 181-186.
- MORENO, S; CORREDOR, J; MERINO, J; HERRERA, P. 2003. Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 53 (2):188-193.
- NAVAS, P; CARRASQUERO, A; MONTILLA, J. 1999. Chemical characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) Var. Carolina flour. Revista de la Facultad de Agronomía del Zulia (LUZ) 16:11-18.
- NAVIA, J; LOPEZ, H; CIMADEVILLA, M; FERNANDEZ, E; VALIENTE, A; CLEMENT, I. 1955. Nutrient composition of Cuban foods. I. Foods of vegetable origin. Food Research 20:97-113.
- NIBA, L; BOKANGA, M; JACKSON, F; SHLIMME, D; LI, B. 2001. Properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (cassava) genotypes. Journal of Food Science 67 (5): 1701-1705.

- NUÑEZ, M; BELLO, L; TECANTE, A. 2004. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrates Polymers* 56: 65-75.
- OLAYIDE, S. 2004. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *Food Chemistry* 87: 205-218.
- OMOWAYE, B; AKINWANDE, B; BOLARINWA, I; ADEBIYI, A. 2008. Evaluation of tigernut (*Cyperus esculentus*) –wheat composite flour and bread. *African Journal of Food Science*. 2: 87-91.
- OVANDO, M.; AGAMMA, E y BELLO, L. 2006. Digestibilidad in vitro del almidón en espagueti adicionado con almidón de plátano. XI Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de ciencia y Tecnología de los alimentos. México.
- PACHECO, E Y MALDONADO R. 2000. Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y plátano verde. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50 (4): 387-393.

PACHECO, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad *in Vitro* del almidón. Acta Científica Venezolana 52: 278-282.

PACHECO, E. 2002. Evaluación nutricional de hojuelas fritas y estudio de la digestibilidad del almidón del plátano verde (*Musa spp.*). Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay) 28:175-183.

PACHECO, E. 2008. Información de primer orden. Situación actual del topocho en Venezuela.

PACHECO, E.; SEQUERA, B. y HERRERA, I. 1998. Plant starches and oils. Their influence on digestion in rats. Journal of Science of Food and Agriculture 77: 381-386.

PACHECO, E; PEREZ, R; SCHNELL, M. 2004. Evaluación nutricional y sensorial de polvos para bebidas a base de papaya, plátano verde y salvado de arroz, índice glucémico. Interciencia 29 (1): 46-51.

PACHECO, E; TESTA, G. 2005. Evaluación nutricional física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. Interciencia 30 (5): 300-304.

PAES, S; YAKIMETS, Y; MITCHELL, J. Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. Food Hydrocolloids ARTICLE IN PRESS.

- PAL, J., REKHA, S. y PUSHPA, R. 2002. Physicochemical properties of hydroxypropyl derivate from corn and amaranth starch. *Carbohydrate Polymers* 48: 49-53.
- PAREDES, O.; BELLO, L Y LOPEZ, M. 1994. Amylopectin; structural, gelatinization and retrogradation studies. *Food chemistry* 50(4):411-417.
- PEDREDO, F., Y PANGBORN, R. 1996. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Analíticos. Editorial ALAMBRA Mexicana. 251 p.
- PENNA, E; AVENDAÑO, P; SOTO, D; BUNGER, A. 2003. Caracterización química y sensorial de biscochuelos enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el anciano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 53 (1): 74:82.
- PERERA, C.; HOOVER, R. y MARTIN, A. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starch. *Food Research International* 30: 235-247.
- PERERA, C; HOOVER, R. 1999. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native and treated potato starches. *Food Chemistry* 64: 361-375.

- PEREZ, E. 1996. Algunas experiencias sobre modificación química de almidón, realizadas en Venezuela. Conferencia Internacional del Almidón. Quito, Ecuador.
- PERÉZ, E. 1997. Characterization of starch isolated from plantain (*Musa paradisiaca* normales) . *Starch/Stärke*. 49 (2): 45-49.
- PÉREZ, E.; BORNEO, R.; MELITO, C. y TOVAR, J. 1999. Chemical, physical, and morphometric properties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* B.) *Starch. Acta Científica Venezolana* 50: 240-244.
- PÉREZ, E.; SCHULTZ, F. Y PACHECO, E. 2005. Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tanina) and *Colocasia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers* 60: 139-145.
- PÉREZ, E; BREENE, W; BAHANASEY, Y. 1998. Variation in the gelatinization profiles of cassava, sagu and arrowroot native starches as measured by different thermal and mechanical methods. *Starch/Stärke* 50: 70-72.
- PÉREZ, E; LARES, M. 2004. Scale laboratory method for isolation of starch from pigmented sorghum. *Journal Food Engineering* 64: 515-519.
- PEREZ, E; LARES, M; GONZALEZ, Z; TOVAR, J. 2007. Production and characterization of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ) flours using different thermal treatments. *Interciencia* 32 (9): 615-619.

- PÉREZ, E; PACHECO, E. 2005. Características químicas, física y reológicas de la harina del almidón nativo aislado de *Ipomea batata* LAM. Acta Científica Venezolana. 56: 12-20.
- QUEIROZ, M; NEBRA, S. 2001. Theoretical and experimental análisis of drying of bananas. Journal of Food Engineering 47: 127-132.
- RADHIKA, K; SUBRAMANIAN, R; ZAKI UDDIN, S; BHATTACHARYA, R. 1994. Viscoelastic Properties of Rice-Flour Pastes and Their Relationship to Amylose Content and Rice Quality. Cereal Chemistry 71(6):548-552.
- RATTI, C. 2001. Hot air and freeze drying of high-value foods: A review. Journal of Food Engineering 49: 311-319.
- RINCON, A.; ARAUJO, C.; CARRILLO, F. y MARTÍN, E. 2000. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50(1): 286-290.
- RINCÓN, M; BOU RACHED, L; ARAGOZA, L; PADILLA, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57 (3):287-294.

- ROBLES, M; GORINSTEIN, S; MARTÍN, O; ASTIAZARÁN, H; GONZÁLEZ, G; CRUZ, R. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. INCI 32(4):227-232.
- RODRIGUEZ, G. 2008. Información de Primer Orden. Sistema de producción de musáceas en Venezuela.
- RODRIGUEZ, J; HERNÁNDEZ, E; AGAMA, E; TOVAR, J; BELLO, L. 2008. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. Food Chemistry 107 :1515–1521.
- RODRÍGUEZ, S. 1994. Generalidades sobre el cultivo de plátano (Musa spp.). Conferencia MINAG. 12 p.
- ROGER, P; COLONNA, P. 1992. The influence of cadein length on the hydrodynamic behaviour of amylose. Carbohydrate Research 227: 73-83.
- RUTENBERG, M. y SOLAREK, D. 1994. Starch derivatives: production and uses. Food Hydrocolloids 344-349.
- SAJILATA, M; SINGHAL, R; KULKARNI P. 2006. Resistant starch-a review. [Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety](#) 5:1-17.

- SALAZAR, M; PARDO, V; BURITICA, P. 2007. Species from Colombia, Ecuador and Peru belonging to the genus *Gerwasia* Raciborski from the order Uredinales. *Caldasia* 29(1): 105-120.
- SALINAS, Y.; ROBLES, R.; SAN MARTÍN, E. y PÉREZ, P. 2006. Antioxidant activity in masa and tortilla from pigmented maize grains. *Memories of 4th international congress on pigments in foods*. Berlin: Springer 131–133).
- SANCHEZ, M; GARCIA, F; VELAZQUEZ, M; GUTIERREZ, F; BELLO, L. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers* 62: 50–56.
- SANDOVAL, A; FARHAT, I; FERNÁNDEZ, A. 2007. Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*manihot esculenta* crantz) durante un proceso de extrusión. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 14 (1): 6-15.
- SANGEETHA, M. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20(5): 557–566.
- SASAKI, T y MATSUKI, J. 1998. Effect of starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry* 7: 525–529.

- SASAKI, T; YASUI, T; MATSUKI, J; SATAKE, T. 2002. Comparison of physical properties of wheat starch gels with different amylose content. *Cereal chemistry* 79 (6): 861 – 866.
- SATIN, M. 1999. Functional properties of starches. Disponible en: <http://www.fao.org>. pp. 1-12.
- SAURA, F; GOÑI, I. 2006. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. *Food Chemistry* 94: 442–447.
- SCHMITZ, C.; DE SIMAS, K.; SANTOS, K.; JOAO, J.; DE MELLO, R. y AMANTE, E. 2006. Cassava starch functional properties by etherification - hydroxypropilation. *International Journal of Food Science* 41: 681-687.
- SCHOCH, T. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In: *methods in carbohydrates chemistry*. Vol IV. Editorial whistler RL, Academy Press, New York, USA.
- SHIM, J; MULVANEY, J. 2001. Effect of heating temperature, pH, concentration and starch / whey protein ratio on the viscoelastic properties of corn starch / whey protein mixed gels. *Journal Science Food Agriculture* 81: 706-717.
- SHIN, M ; WOO, k ; SEIB, P. 2003. Hot water solubilities and water sorptions of resistant starches at 25 °C. *Cereal Chemistry* 80 (5) : 564.

- SHIN, S; BIEN, J; PARK, K; MOON, T. 2004. Effect of partial acid hydrolysis and heat-moisture treatment on formation of resistant tuber starch. *Cereal Chemistry* 81(2): 194-198.
- SHUJUN, A; LIU, H; GAO, W; CHEN, A; YU, B; XIAO, D. 2006. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. *Food Chemistry* 99: 30–37.
- SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; WENYUAN, G.; JIPIMG, P.; HONGYAN, L. y JIUGAO, Y. 2007. Granule structural changes in native Chinese Yam (*Dioscorea opposita* var. Anguo) starch during acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers* 69: 286-292.
- SHUJUN, W; YU, J; YU, J; CHEN, H; PANG, J; LIU, H. 2007. Partial characterization of starches from *Dioscorea opposita* Thunb. Cultivars. *Journal of Food Engineering* ARTICLE IN PRESS.
- SIKORA, M; MAZURKIEWICZ, J; TOMASIK, P; PIELICHOWSKI, K. 1999. Rheological properties of some starch-water-sugar systems. *International Journal of Food Science and Technology* 34:371-383.

- SINDONI, M; MARCANO, L; PARRA, R. 2008. Estudios de Aceptación de Harinas derivadas de Merey para la Elaboración de Panes. *Agronomía Tropical* 58(1): 11-16.
- SINGH, J; KAUR, L; MCCARTH, O. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications -A review. *Food Hydrocolloids* 21(1): 1-22.
- SINGH, J; SINGH, N. 2003. Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. *Food Hydrocolloids* 17:63-72.
- SINGH, K; SANDHUA, M; NARPINDER; S, SEUNG; L. 2008. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT-Food Science and Technology* 41 : 1000–1010.
- SINGH, K; SINGH, N. 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry* 101 (4): 1499-1507.
- SINGH, N, SINGH, N. 2005. Characteristic of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal Food Engineering* 70: 117-127.

- SINGH, N; SINGH, J; KAUR, L; SINGH, S; SINGH, G. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81:219-231.
- SINGH, S; RIAR, C; SAXENA, D. 2008. Effect of incorporating sweetpotato flour to wheat flour on the quality characteristics of cookies. *African Journal of Food Science* (2): 65-72.
- SINGH; N, SINGH, J: KAUR, L; SINGH, S; SINGH, G. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81:219-231.
- SITOHY, M.; SAID, E.; LABIB, S. y RAMADAN, M. 2000. Physicochemical properties if different types of starch phosphate monoesters. *Starch/Stärke* 52(4): 101-105.
- SOUSA, M; CANET, W;ALVAREZ, M; FERNÁNDEZ, C. 2007. [Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry \(cv. Heritage\) and blackberry \(cv. Thornfree\)](#). *Journal of Food Engineering* 78 (1): 9-21.
- STUTE, R. 1992. Hydrothermal modification of starch: the difference between annealing and heat moisture treatments. *Starch/Stärke* 44: 205-214.

- SUNTHARALINGAM, S; RAVINDRAN, G. 1993. Physical and biochemical properties of green banana flour. *Plant Foods for Human Nutrition* 43 (1): 19-27.
- SWINKLES, M. 1987. Industrial starch chemistry: Properties, modifications and applications of starches. AVEBE. The Netherlands Pp 205-208.
- TEIXEIRA, M.; CIACCO, F.; TAVARES, D y BONEZZI, A. (1998). Occurrence and characterization of resistant starch from corn and banana starch. *Ciencia e Tecnología de Alimentos* 18: 246–253.
- TESTER, R; KARKALAS, J; QI, X. 2004. Starch composition, fine structure and architecture. *Journal Cereal Science* 39: 151–165.
- TESTER, R; MORRISON, W. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry* 67(6): 551-557.
- THOMAS, D. y ATWELL, W. 1999. Starch structure in starches, practical guide for the food industry. Eagan Press Handbook Serie. ST. Paul Mn. USA. 1-12.
- TORRES, A; GUERRA, M. 2003. Sustitución Parcial De Harina De Maíz Precocida Con Harina De Quinchoncho (*Cajanus Cajan*) Para La Elaboración De Arepas. *Interciencia* 28 (11): 660 -664.

- TORRES, B; RAMTIREZ, O; SERNA, S; ROONEY, W. 1993. Effect of Sorghum Flour Addition on the Characteristics of Wheat Flour Tortillas. *Cereal Chemistry* 70(1):8-13.
- TOVAR, J. 1994. Natural and man-made resistant starch. *Agro. Food Industry Hi-Tech* 5 (6):23-25.
- TOVAR, J; FERNÁNDEZ, M; BLANCO, A. 2005. Digestibilidad *in vitro* del almidón en preparaciones cocidas y molidas de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Interciencia* 30(12): 780-783.
- TOVAR, J; MELITO, C; HERRERA, E; RASCÓN, A; PÉREZ, E. 2002. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. *Food Chemistry* 76(4): 455-459.
- TOVAR, J; SÁYAGO, S; PEÑALVER, C; PAREDES, O; BELLO, L. 2003. In vitro starch hydrolysis index and predicted glycemic index of corn tortilla, black beans (*Phaseolus vulgaris* L.), and Mexican “taco”. *Cereal Chemistry* 80:533–535.
- TSAI, M; LI, C; LII, C. 1997. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. *Cereal Chemistry* 74(6): 750-757.

- UNLU, E; FALLER, J. 1998. Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal Chemistry* 75: 346–350.
- VAN DER BURGT, Y; BERGSMA, J; BLEEKER, I; FOXHOL, M; KAMERLING, J; Vliegenthart, J. 1999. Structural studies on methylated starch granules. *Starch/stärke* 2 (3): 40 – 43.
- VAN HUNG, P; MAEDA, T; MARITA, N. Waxy and high-amylose wheat starches and flours- characteristics, functionality and application. *Trends in Food Science and Technology* 17 (8): 448-456.
- VANSTEELANDT, J; DELCOUR, J. 1999. Characterisation of starch from durum wheat (*Triticum durum*). *Starch/Stärke* 51(2-3): 73-80.
- VASANTHAN, T; YEUNG, J; HOOVER, R. 2001. Dextrinization of starch in barley flours with thermostable alpha-amylase by extrusion cooking. *Starch/Stärke* 53: 616-622.
- VERGARA, N.; GRANADOS, E.; AGAMA, E.; TOVAR, J.; RUALES, J.; y BELLO, L. 2007. Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 40: 722–729.
- VILLARROEL, M; ACEVEDO, C; YANEZ, E; BIOLLEY, E. 2000. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización

en la formulación de productos de panadería. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 53 (4): 400 – 406.

VUYLSTEKE, A.; HARTMAN, B y TENKOVANO, E. 1999. Perspectiva de los mejoradores con respecto a la biotecnología para el mejoramiento de Musa. Infomusa, La revista Internacional sobre banano y plátano 8(1): 1-15.

WALISZEWSKI, K ; APARICIO, M ; BELLO, L ; MONRAY, J. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. Carbohydrate Polymers 52 : 237-242.

WANG, J; WHITE, P; POLLAK, I; LANE, J. 1993. Amylopectin and intermediate materials in starch from mutant genotypes of the oh43 inbred line. Cereal Chemistry 70 (5): 521-525.

WANG, L; WHITE, P. 1994. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starch. Cereal Chemistry 71(3): 263-268.

WANG, S; JIAO, H. 2000. Scavenging Capacity of Berry Crops on Superoxide Radicals, Hydrogen Peroxide, Hydroxyl Radicals, and Singlet Oxygen. Journal Agriculture Food Chemistry 48 (11): 5677 -5684.

- WANG, Y; WANG, L. 2003. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers* 52: 207–217.
- WANG, Y; TRUONG, V; WANG, L. 2003. Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers* 52: 327-333.
- WANG, Z; WHITE, P. 1994. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chemistry* 71: 443–450.
- WASIU, A; CLARA, O; BILKISU, F. (2001). Acceptability and chemical composition of bread from beniseed composite flour. *Nutrition and Food Science* 6: 310-313.
- WATSON, S.A. 1987. Measurement and maintenance of quality. *In: Corn Chemistry and Technology*. Watson S. A., and P. E. Ramstad (ed). Am. Assoc. Cereal Chem. St Paul, MN. pp: 125-183.
- WEN, L; RODIS, P; WASSERMAN, P. 1990. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chemistry* 67:268-275.
- WISCHMANN, B; AHMT, T; BANDSHOLM, O; BLENNOW, A, YOUNG, N; JEPPESEN, L; THOMSEN, L. 2007. Testing properties of potato starch

from different scales of isolations—A ringtest. *Journal of Food Engineering* 79: 970–978.

WITTIG DE PENNA, E; AVENDANO, P; SOTO, D. 2003. Caracterización química y sensorial de biscochuelos enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el anciano. *Archivos Latinoamericano de Nutrición* 53(1): 74-83.

WOLEVER, M; BRAND, M. 1995. Sugar and glucose control. *American Journal of Clinical Nutrition* 62:212-227.

WOO, K; SEIB, A.2002. Cross-linked resistant starch: preparation and properties. *Cereal Chemistry* 79(6): 819-825.

WURZBURG, B. 1986. Forty years of industrial starch research. *Cereal Food World* 31(12): 897-903.

YOENYONGBUDDHAGAL, S; NOOMHORM, A. 2002. Effect of physicochemical properties of high- amylose thai rice flours on vermicelli quality . *Cereal Chemistry* 79 (4): 481- 485.

- YOSHIMOTO, Y; TASHIRO, J; TAKENOUCI, T; TAKEDA, Y. 2000. Molecular structure and some physicochemical properties of high-amylose barley starches. *Cereal Chemistry* 77 (3): 279-285.
- YU, B; SATOSHI, F; KISHIHARA, S. 1999. Physicochemical properties of huaishan (rhizoma *Dioscorea*) and matai (*Eleocharis dulcis*) starches. *Starch/Stärke* 51:5-10.
- YUAN, Y; ZHANG, L; DAI, Y; YU, J. 2007. Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makino comparison with other tuber starches. *Journal of Food Engineering* 82: 436–442.
- YUE, P; RAYAS, P; ELIAS, E. 1999. Effect of Drying Temperature on Physicochemical Properties of Starch Isolated from Pasta. *Cereal Chemistry* 76 (4): 541-547.
- YUE, P; WARING, S. 1998. Resistant starch in food applications. *Cereal Food World*. 43: 690-695.
- ZAMORA, N. 2003. Efecto de la extrusión sobre los factores anti-nutricionales y digestibilidad in vitro de proteínas y almidón en harinas de *Canavalia ensiformis*. *Archivo Latinoamericano de Nutrición* 53(3): 293-298.

ZAMUDIO, P.; VARGAS, A.; PEREZ, J. BOZQUEZ, E; BELLO, L. 2006. Films prepared with oxidized banana starch: mechanical and barrier properties. *Starch/stärke*. 58: 274-282.

ZENG, M; MORRIS, C; BATEY, I; WRIGLEY, C. 1997. Sources of variation for starch gelatinization, pasting, and gelation properties in wheat. *Cereal Chemistry* 74(1):63-71.

ZHANG, G; HAMAKER, B. 1999. SDS-Sulfite increases enzymatic hydrolysis of native sorghum starches. *Starch/Stärke* 51: 21-25.

ZHANG, P; WISTLER, L; BEMILLER, J; HAMAKER, B. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Producción. Carbohydrate Polymers* 59: 443-458.

ZHENG, G; HAN, H; BHATTY, R. 1999. Functional properties of cross-linked and hydroxypropylated waxy hull-less barley starches. *Cereal Chemistry* 76(2): 182-188.

ZHENG, G; SOSULKI, F. 1998. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. *Journal of Food Science* 63(1):134-139.

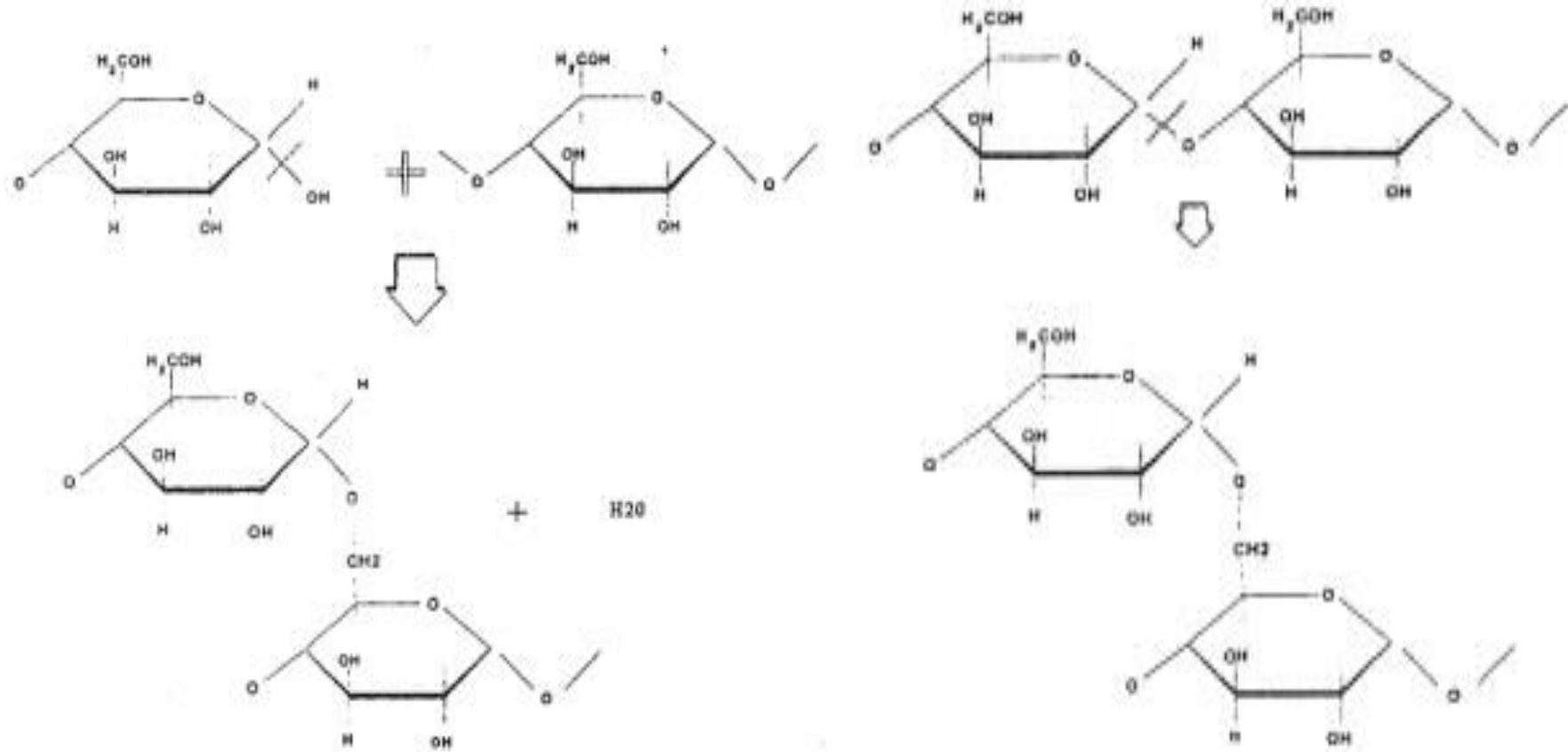
ZHOU, M; ROBARDS, K; GLENNIE-HOLMES, M; HELLIWELL, S. 1998.

Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry* 75:273–281.

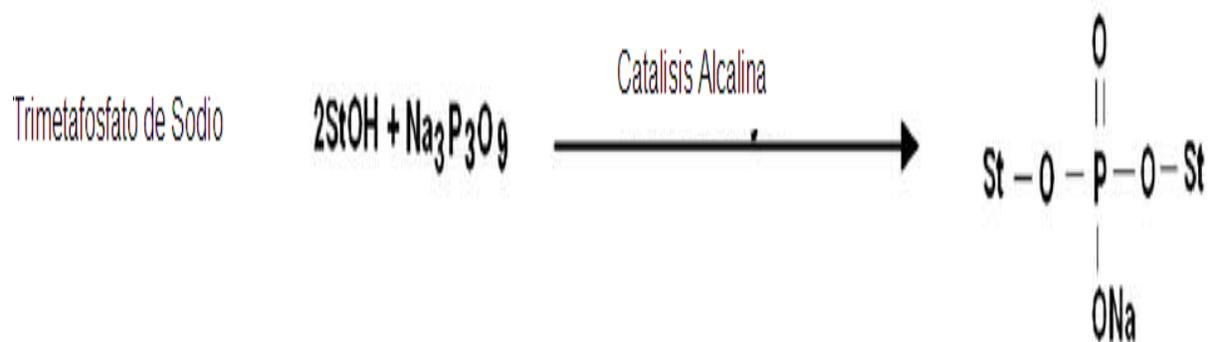
ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S. y BLANCHARD, C. 2002.

Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology* 37: 849-868.

ANEXOS

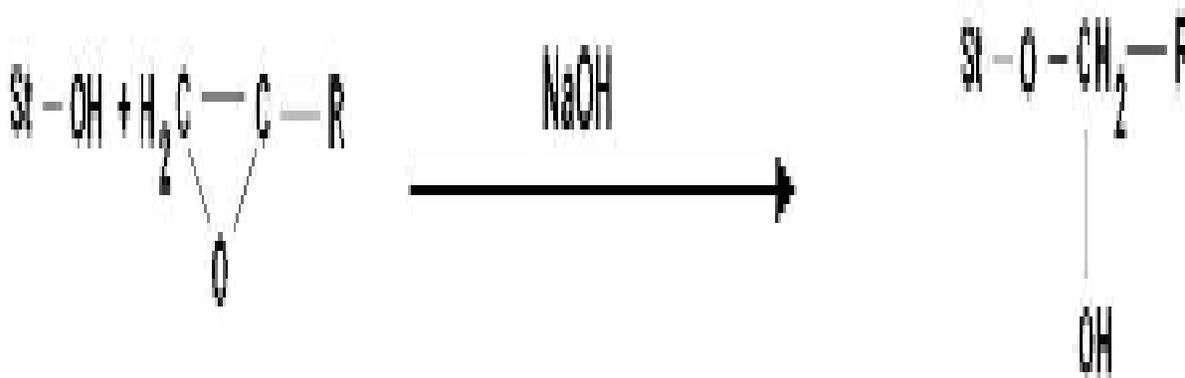


Anexo 1. Reacción química durante la hidrólisis ácida. A. Reversión y B. transglucosidación. Fuente: Pérez, 1996.



Anexo 2. Reacción Química durante el entrecruzamiento

Fuente: Singh y Singh, 2007.



Anexo 3. Reacción Química que ocurren durante la eterificación

Fuente: Singh y Singh, 2007.



Anexo 4. Reacción Química que ocurre durante la esterificación.

Fuente: Singh y Singh, 2007.