



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Programa de Posgrado en Alimentos del  
Centro de la República (PROPAC)

**“ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN EN EL APORTE CALÓRICO DE ALIMENTOS  
PROCESADOS SIN MODIFICAR SUS CARACTERÍSTICAS DE VISCOSIDAD”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Presenta**

Q. en A. Ana Lizbeth Olvera Martínez

**Dirigido por**

Dr. Eduardo Castaño Tostado

SINODALES

Dr. Eduardo Castaño Tostado  
Presidente

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano  
Secretario

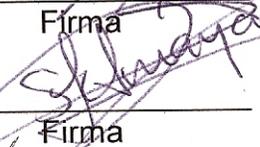
Dr. Alberto Tecante Coronel  
Vocal

Dra. Beneranda Murúa Pagola  
Suplente

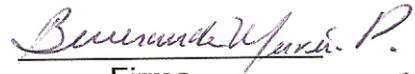
Dr. Edmundo Mercado Silva  
Suplente

  
Q.B. Magali E. Aguilar Ortiz  
Director de la Facultad

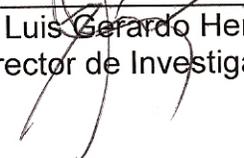
  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

*Dedicado*

*A mi familia en especial a mi madre,  
mi hermana Ariadna y mi hijo por su gran apoyo,  
confianza y amor para materializar mis sueños.*

## Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo a los estudiantes para llevar a cabo nuestro estudios de posgrado.

A la empresa NESTLE Nutrition Gerber por permitirnos realizar el presente trabajo.

A mi comité de tesis, el Dr. Castaño, a la Dra. Silvia Amaya y la Dra. Beneranda Murúa por su apoyo e interés para que se llevará a cabo este proyecto.

# ÍNDICE

	Página
Índice	i
Índice de cuadros	iv
Índice de figuras	vi
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II REVISIÓN DE LA LITERATURA</b>	<b>3</b>
<b>2.1 El almidón</b>	<b>3</b>
2.1.1 Generalidades	4
A. Estructura y composición	4
B. Gránulos	6
C. Gelatinización y formación de pasta	9
D. Retrogradación	11
E. Valor nutritivo	13
2.1.2 Fuentes de almidón	14
A. Maíz	15
2.1.3 Tipos de almidón	16
A. Almidones nativos	16
B. Almidones hidrolizados	19
C. Almidones modificados	20
a) Modificación física	20
b) Modificación química	21
2.1.4 Interacciones con otros constituyentes	23
A. Agua	24
B. Azúcares	25
C. Polisacáridos	25
D. Sales	26
E. Proteínas	27
F. Emulsificantes y lípidos	27
G. El pH	28
2.1.5 Características de las pastas	29

A. Perfil de cocción (RVA)	31
<b>2.2 El arroz</b>	36
2.2.1 Composición	37
2.2.2 Harina de arroz	38
2.2.3 Valor nutritivo	39
<b>2.3 La fibra</b>	40
2.3.1 Estructura y composición	40
2.3.2 Fuente de fibra	43
2.3.3 Valor nutritivo	44
<b>III JUSTIFICACIÓN</b>	46
<b>IV OBJETIVOS</b>	47
4.1 Objetivo general	47
4.2 Objetivos particulares	47
<b>V METODOLOGÍA</b>	48
<b>5.1 Caracterización fisicoquímica</b>	48
5.1.1 Sólidos totales y humedad	48
5.1.2 Cenizas	49
5.1.3 Fibra dietaría total	49
5.1.4 Grasa	51
5.1.5 Proteína	51
<b>5.2 Índice de adsorción en agua (IAA)</b>	52
<b>5.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)</b>	53
<b>5.4 Digestibilidad <i>in vitro</i></b>	53
<b>5.5 Perfil de cocción (RVA)</b>	54
<b>5.6 Alimentos prototipo</b>	55
5.6.1 Estrategia experimental	55
5.6.2 Diseño de experimentos	55
5.6.2.1 Alimento prototipo de alta acidez	57
5.6.2.2 Alimento prototipo de baja acidez	57
5.6.3 Vida de anaquel	58
5.6.3.1 Color	58

5.6.3.2	Consistencia	59
5.6.3.3	Presencia de fases	59
<b>VI</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>60</b>
<b>6.1</b>	<b>Caracterización de ingredientes individuales</b>	<b>61</b>
6.1.1	Análisis proximal	61
6.1.2	Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA)	63
<b>6.2</b>	<b>Valor energético</b>	<b>64</b>
<b>6.3</b>	<b>Digestibilidad de proteína <i>in vitro</i></b>	<b>67</b>
<b>6.4</b>	<b>Perfiles de cocción (RVA)</b>	<b>67</b>
6.4.1	Ingredientes para formulación de alimento prototipo de alta acidez con pera	68
6.4.2	Ingredientes para formulación de alimento prototipo de alta acidez con manzana	70
6.4.3	Ingredientes para formulación de alimento prototipo de baja acidez con vegetales.	73
<b>6.5</b>	<b>Alimento prototipo</b>	<b>76</b>
6.5.1	Estudios de la vida de anaquel de alimentos prototipo	77
6.5.1.1	Cambios de color	77
6.5.1.2	Cambios en consistencia	82
<b>VII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>84</b>
<b>VIII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Propiedades de los almidones en los productos procesados.	4
2	Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.	18
3	Funcionalidad de las diferentes variedades de almidón de maíz de acuerdo a la proporción de sus constituyentes.	18
4	Propiedades y aplicaciones de los almidones modificados en los alimentos procesados.	23
5	Contenido de amilosa en las diferentes variedades de granos de arroz.	37
6	Composición proximal de diferentes tipos de arroces crudos (g/100g).	38
7	Relación de carbohidratos totales y fibra cruda de la porción comestible de algunos alimentos (base húmeda).	44
8	Generalidades de los ingredientes individuales caracterizados	48
9	Formulación de los alimentos prototipo	55
10	Ingredientes usados en la formulación con pera	57
11	Mezclas binarias usadas en la formulación con manzana.	58
12	Mezclas binarias usadas en la formulación con vegetales.	58
13	Composición proximal de muestras de almidón, harina de arroz y fibra cítrica.	65
14	Digestibilidad in vitro de ingredientes individuales y de mezclas binarias.	67
15	Propiedades de de las pasta de los ingredientes individuales.	69
16	Propiedades de las pastas en mezclas binarias de almidón, harina de arroz y fibra cítrica para la formulación del alimento prototipo con manzana.	73

- 17      Propiedades de las pastas en mezclas binarias de almidón, harina de arroz y fibra cítrica para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Estructura química de la amilosa.	5
2	Estructura química de la amilopectina.	6
3	Gránulos de almidón de: a) maíz común, b) maíz céreo, c) trigo y d) arroz.	7
4	El arreglo del la doble hélice de las estructuras cristalinas del almidón.	8
5	Manufactura de productos de almidón de maíz.	17
6	Reacciones de modificación química del almidón.	22
7	Efecto de la lactosa y de las sales de la leche en la viscosidad del almidón: a) en agua; b) en 5% de lactosa y c) en un sistema libre de proteínas.	26
8	Efecto del pH en la viscosidad de algunos almidones: a) maíz; b) papa y c) sorgo.	29
9	Cambios en la estructura del gránulo debido al calentamiento en el perfil de viscosidad del almidón.	32
10	Curva típica del perfil de cocción (RVA) de un almidón y sus propiedades.	34
11	Clasificación de las fibras dietaría.	41
12	Estructura química de la celulosa.	41
13	Estructura celular de una fibra vegetal. (a) Estructura esquemática, (b) Microscopia de sección	43
14	Estrategia experimental en la elaboración de los alimentos prototipo en las dos formulaciones alta y baja acidez.	56
15	Perfil proximal de los ingredientes.	66
16	Perfil de cocción (RVA) de ingredientes individuales: almidones modificados, harinas de arroz y fibra cítrica.	69
17	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de almidón y HMG para la formulación del alimento prototipo con manzana.	71

18	Perfil de cocción (RVA) de mezclas de mezclas binarias de almidón y HFM para la formulación del alimento prototipo con manzana.	71
19	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HFM o FC y HMG para la formulación del alimento prototipo con manzana.	72
20	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de almidón y FC para la formulación del alimento prototipo con manzana.	72
21	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HMG y almidón para la formulación del alimento prototipo con manzana.	74
22	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HFM y almidón para la formulación del alimento prototipo con vegetales.	74
23	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de FC y almidón para la formulación de alimento prototipo con vegetales.	75
24	Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HMG y HFM o FC para la formulación del alimento prototipo con vegetales.	75
25	Cambios de color en el valor $L^*$ en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo.	78
26	Cambios de color en el valor $a^*$ en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo.	79
27	Cambios de color en el valor $b^*$ en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo.	82
28	Cambios en la consistencia en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo.	83

## RESUMEN

En el presente trabajo se planteó sustituir un ingrediente o la mezcla de dos en alimentos prototipos infantiles, sin modificar su perfil de cocción y sus propiedades nutricionales para reducir su aporte calórico.

Se estudiaron 3 ingredientes: almidón físicamente modificado (AF), harina de arroz físicamente modificada (HFM) y fibra cítrica (FC), los resultados se compararon con los ingredientes control: almidón acetilado (AG) y almidón bifosfatado (AC) y harina de arroz nativa (HMG). El análisis proximal indicó que el porcentaje promedio de proteína de los almidones AG, AC y AF fue de 0.26, 0.27 y 0.33 % respectivamente, para el caso de las harinas HMG, HFM y la FC fue de 7.03, 7.39 y 7.67 % respectivamente, no existió diferencia significativa. El contenido de grasa fue menor en los almidones (AG=0.86, AC=0.9 y AF=0.97%), seguido por las harinas (HMG=1.49, HFM=1.46%) y FC mostró un mayor porcentaje (3.56%).

A partir del perfil de cocción (RVA) se sustituyó AF y HMG/HFM por AG en la formulación con pera; AF/HFM y AF/FC por AG/HMG en la formulación con manzana y, HMG/AF y HMG/HFM por HMG/AC en la formulación con vegetales. El ensayo de digestibilidad *in vitro* de proteína de los ingredientes individuales y de las mezclas binarias seleccionadas, mostró que AF fue menos digerible (68.1%) en comparación con AG (74.4%) y sus mezclas de AF también fueron menos digeribles que el resto de las mezclas.

Los alimentos prototipos se sometieron a tres diferentes condiciones de temperatura de almacenamiento: ambiente (sin control), 35 y 50 °C, se midieron cambios en color, consistencia y presencia o ausencia de fases cada diez días cubriendo un periodo de tres meses.

Respecto a cambios de color, las formulaciones en el caso de manzana y vegetales fueron similares entre sí. En el caso de pera la formulación HMG/HFM mostró valores de L\* y a\* superiores a las otras dos formulaciones estudiadas en las tres temperaturas de almacenamiento. Para los tres alimentos prototipo las formulaciones alternativas y el control respectivos son equivalentes en los patrones en el tiempo de consistencia revelados a temperatura ambiente y a 35°C. A 50 °C en el caso de vegetales, las formulaciones alternativas al control son equivalentes hasta por 30 días; en el caso de manzana, ninguna formulación se mantuvo bajo especificaciones; en el caso de pera la formulación control fue la única que mantuvo especificaciones durante los 90 días, sólo la formulación con AF soportó hasta 20 días bajo esta temperatura extrema de almacenamiento.

Palabras claves: almidón, viscosidad, consistencia, alimento infantil

## ABSTRACT

This study attempted to substitute an ingredient or two ingredients mixture in prototype baby foods without modifying their viscosity and nutritional features.

Three hydrocolloids were studied to be substituted: physically modified starch (AF), physically modified rice flour (HFM) and citric fiber (FC), the results were compared to control hydrocolloids: chemically modified starch (AG and AC), and native rice flour (HMG).

A proximal analysis was done in those materials: the mean percentage of protein was 0.26, 0.27 and 0.33 corresponding to AG, AC, and AF, respectively. For HMG, HFM and FC proteins mean percentages contents were 7.03, 7.3 and 7.67%, respectively, being statistically equal. About fat content, the starches showed lower quantities (AG=0.86, AC=0.9 y AF= 0.97%) compared to flours (HMG=1.49, HFM=1.46%), and FC showing the least fat content, 3.56%. Caloric content in individual hydrocolloids and their mixtures were found equivalents.

Viscosity characteristics were determined by the Rapid Visco Analyzer (RVA) from the individual hydrocolloids and some of their mixtures. Viscosity profile data showed that possible alternatives to be used to substitute in the foods are AF or HMG/HFM by AG; AF/HFM or AF/FC by AG/HMG, and HMG/AF or HMG/HFM by HMG/AC. Along the way considering cost restrictions was involved.

For each of the three prototype food models, vegetables, apple and pear, two alternative hydrocolloid mixtures and the control hydrocolloid mixture were selected to prepare them. In vitro digestibility was equal for all the prototype formulations.

The formulations were subjected to a degradation study using three storage temperature (without control), 35 and 50°C, those were measured every ten days during three months, there were changes in color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and consistency.

About color changes, vegetables and apple formulations were equivalent among them; in pear formulation HMG/HFM showed greater  $L^*$  and  $a^*$  values, under the three temperature regimes.

About consistency time profile, under no control and 35°C, the behavior is similar. However under 50°C, profiles are diverse; in the case of vegetables, alternatives formulations to the control formulation are similar up to 30 days; in the case of apple, none of the formulations are acceptable (outside product specifications); in pear formulation only the control formulation held up this temperature regime along 90 days, AF alternative formulation was under specifications up to 20 days.

Keywords: starch, viscosity, consistency, baby food.

## I. INTRODUCCIÓN

El almidón es un polisacárido de reserva que se encuentra en las plantas, almacenado en raíces, semillas y en los granos de los cereales, el cual proporciona energía (4 kcal/g) a los seres humanos y provee de glucosa al ser metabolizado en el organismo para el adecuado funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso central (Linden y Lorient, 2000).

Los cereales como el trigo y el maíz, los tubérculos como la papa o la tapioca, son algunas de las fuentes comerciales de almidón para su explotación industrial. En la elaboración de alimentos se utiliza debido a su versatilidad para generar propiedades funcionales, sensoriales o como sustituto de otros ingredientes. Una tercera parte de la producción nacional de almidón se utiliza en una gran variedad de aplicaciones industriales que afectan las propiedades sensoriales como la textura; por ello es probablemente el ingrediente más comúnmente utilizado (Vaclavik y Christian, 2008).

La fuerte tendencia hacia el desarrollo de productos alimenticios con alto valor nutricional, junto con la necesidad continua de optimización y reducción de costos de producción, han estimulado el desarrollo de procesos para mejorar la funcionalidad de los almidones, como son los almidones modificados o mezclas de almidones de diferente origen (Manrique-Quevedo, y *col.* 2007).

Las modificaciones químicas o físicas de un almidón cambian su estructura molecular, y su aporte nutricional. Estos cambios son de utilidad tecnológica; por ejemplo, los almidones pregelatinizados se dispersan en agua fría y pueden espesar sin calentamiento, contribuyendo a una textura agradable y ayudando a tener otros compuestos en una suspensión uniforme (Vaclavik y Christian, 2008).

Sin embargo, debido a las cualidades funcionales del almidón, este ingrediente de gran importancia nutrimental es utilizado indiscriminadamente en la industria alimentaria, como constituyente en las formulaciones de los alimentos procesados para generar cualidades basadas únicamente en atributos sensoriales o funcionales dejando a un lado el balance nutricional.

La propuesta en el presente trabajo es estudiar la posible sustitución del almidón por otros ingredientes que mantengan características semejantes en viscosidad a las que proporciona el almidón disminuyendo el contenido calórico.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. El almidón

El almidón se usa en la preparación de alimentos procesados para mejorar su calidad; esto es, su aspecto físico, textura y sensación en la boca, ofreciendo ventajas para remplazar a ingredientes costosos (Linden y Lorient, 2000); además contribuyendo a mejorar su consistencia y estabilidad durante el almacenamiento.

Los almidones se usan en la elaboración de alimentos infantiles, en la producción de sopas y atoles instantáneos, y como relleno en productos de repostería (Manrique-Quevedo y col., 2007). Además en la elaboración de mermeladas, productos congelados, bebidas, productos de panadería, deshidrataos o productos extrudidos (Cuadro 1).

La selección del almidón en determinada formulación de un alimento procesado es eficiente cuando el almidón produce las propiedades funcionales buscadas y además no incrementa el valor calórico del producto final, aunque esto no siempre es una elección sencilla. Las propiedades funcionales del almidón están relacionadas con cuatro cualidades predominantes: el sabor, la textura, la consistencia y el fácil uso (Linden y Lorient, 2000).

También la industria de alimentos procesados aprovecha las propiedades físicas del almidón, especialmente su viscosidad y su estructura coloidal (Pasquel, 2001).

Cuadro 1. Propiedades de los almidones en los productos procesados.

<b>Propiedad</b>	<b>Producto procesado</b>
Adhesión	Migajón del pan, coberturas
Antiadhesión	Pan, gomas
Fluidez	Grasas, polvos para hornear
Anti- endurecedor	Productos horneados
Moldeado	Confitería
Encapsulante	Esencialmente grasa y aromas
Espesante	Alimentos infantiles, salsas y sopas
Dar forma, cuerpo	Carnes y alimentos para mascotas
Gelificante	Confitería
Glaseado	Confitería, decoración de pasteles
Fijador	Papas, alimentos extrudidos
Refuerzo de espumas	Bebidas
Retención de agua	Carne, productos de panadería
Estabilizante	Bebidas, emulsificantes en aderezos para ensaladas

Fuente: Linden y Lorient (2000).

### **2.1.1. Generalidades**

Sin considerar a la fuente botánica, los almidones son básicamente polímeros de D-glucosa; la estructura de los monosacáridos puede representarse como una cadena abierta o formando anillos y se la refiere como piranosa. Este tipo de configuración es termodinámicamente más estable y es la configuración del azúcar en disolución (Thomas y Atwell, 1999).

#### **A. Estructura y composición**

El almidón es el resultado de la polimerización de la glucosa y consiste de dos polisacáridos principales amilosa y amilopectina; ambos tienen como base una cadena lineal de glucosa. El amilosa es esencialmente un polímero lineal, mientras que la molécula de amilopectina es más grande y ramificada. Las diferencias estructurales entre estos dos polímeros contribuyen a la presencia de diferencias significativas en las propiedades y funcionalidad del almidón (Thomas y Atwell 1999).

El almidón es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de los enlaces glucosídicos, que establece cadenas con 200 – 2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, el almidón es un  $\alpha$ -D-(1-4)-glucano (Figura 1), cuya unidad repetida es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2006).

Las moléculas de amilopectina constituyen aproximadamente tres cuartas partes de los polímeros en los gránulos de almidón, el amilopectina es altamente ramificada, tiene en promedio una ramificación en la cadena lineal cada 20-25 glucosas residuales, unidas a la cadena principal por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1-6) (Figura 2), las ramificaciones hacen al amilopectina menos soluble en agua que el almidón (Parker y Ring, 2000).

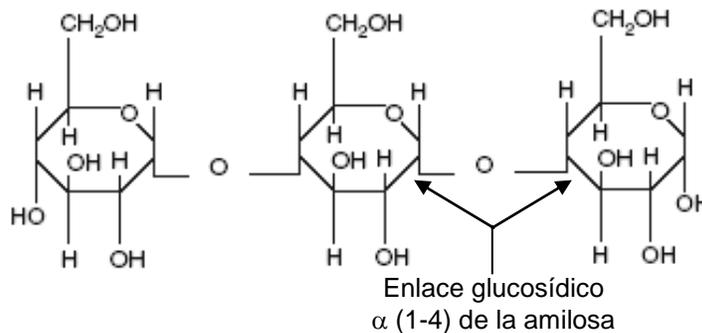


Figura 1. Estructura química de almidón (Vaclavik y Christian, 2008).

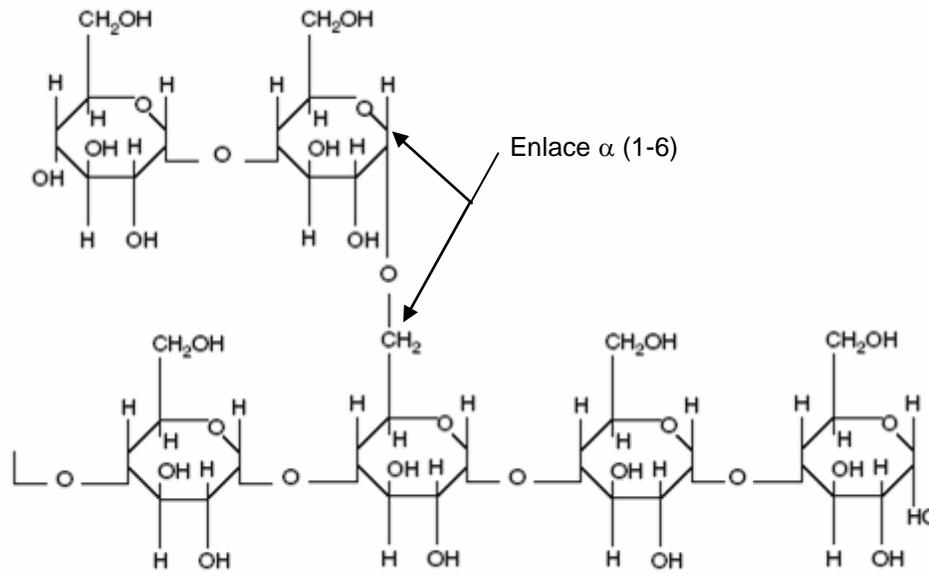


Figura 2. Estructura química de amilopectina (Vaclavik y Christian, 2008).

Tanto el amilosa como el amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso. (Badui, 2006).

## B. Gránulos

El amilosa y el amilopectina no existen libres en la naturaleza, y se encuentran en pequeños corpúsculos discretos que reciben el nombre de gránulos; en el tejido vegetal, éstos ejercen una presión osmótica muy baja, con lo que la planta almacena grandes cantidades de glucosa en forma de gránulos de una manera muy accesible sin romper el balance de agua interior (Badui, 2006).

El tamaño, la forma y la estructura del gránulo son característicos de cada especie botánica (Cuadro 2); el diámetro de los gránulos nativos generalmente se

encuentra entre 1 a 100  $\mu\text{m}$ , y la forma puede ser regular (esférica, ovoide o angular) o totalmente irregular (Figura 3) (Thomas y Atwell 1999).

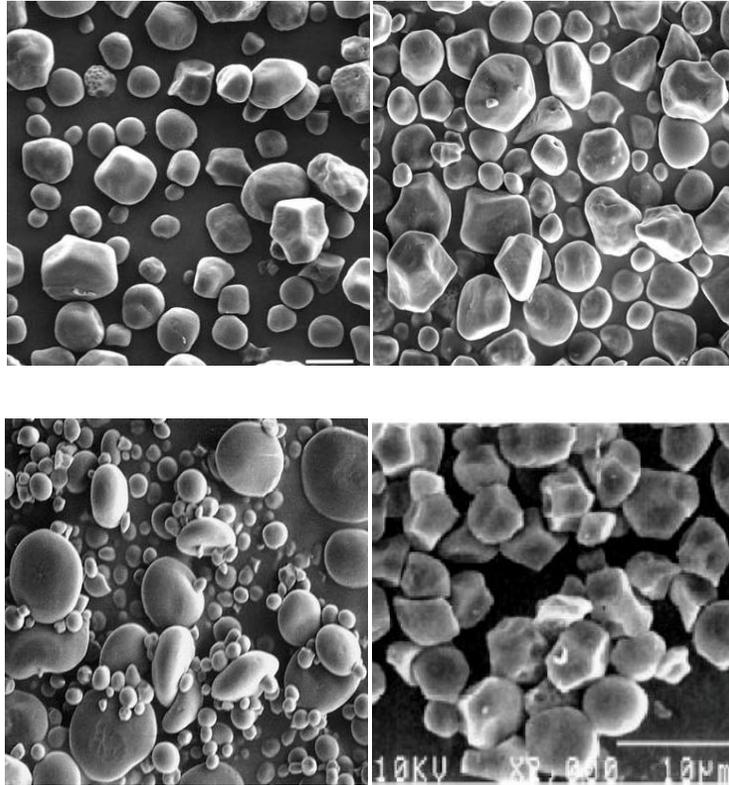


Figura 3. Gránulos de almidón de: a) maíz común, b) maíz céreo, c) trigo (Vaclavik y Christian, 2008) y d) arroz (Bao y Bergman, 2004).

Parker y Ring (2000) reportaron que el gránulo de almidón es parcialmente cristalino con alrededor de 30% de regiones cristalinas. Se conocen dos formas cristalinas (Figura 4), la forma A presente en la mayoría de los almidones de cereales, consiste de una doble hélice de almidón empacada que forma una estructura cristalina monoclinica. La forma B se encuentra en algunos almidones de tubérculos y de cereales con alto contenido de amilosa, es altamente hidratable y tienen una estructura abierta, consiste de una doble hélice empacada en forma hexagonal.

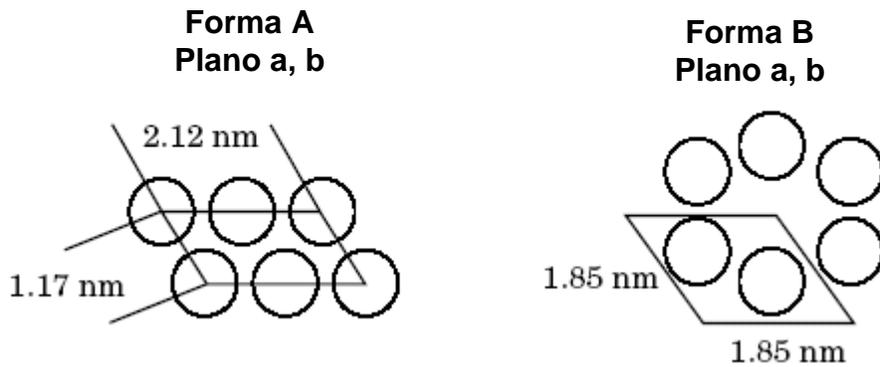


Figura 4. El arreglo de la doble hélice de las estructuras cristalinas del almidón (Parker y Ring, 2000).

Los gránulos presentan diferencias en las proporciones de sus constituyentes moleculares y en la interacción con otros componentes minoritarios, como lípidos y proteínas, que también influyen en las propiedades y en la forma de los gránulos (Tharanatha, 2005).

La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente) que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales. Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual si se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por el amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con el amilosa. Por esta razón, los gránulos que contienen una porción grande de la fracción ramificada no presentan birrefringencia; esta característica, al igual que su espectro de rayos X, se pierde cuando los gránulos alcanzan la gelatinización (Badui, 2006).

Se ha desarrollado mucha investigación para relacionar la estructura del gránulo de almidón y su comportamiento de gelatinización; parece lógico que la estructura tal como el contenido de amilosa, la distribución de las cadenas largas de amilopectina y la cristalización relativa están relacionadas con eventos

asociados con la gelatinización; hinchamiento del gránulo de almidón, lixiviación de amilosa y amilopectina, pérdida radial (birrefringencia), estructura molecular (cristalinidad) y orden molecular (Vandeputte y col., 2003).

Además, en la estructura del gránulo de almidón hay cierta porosidad y existe una relación entre la porosidad y las propiedades fisicoquímicas, aunque están sujetos a muchas investigaciones contemporáneas, diversos métodos son utilizados para medir la porosidad de los gránulos de almidón. Los valores obtenidos para la porosidad dependen del origen del almidón y del método aplicado (Fortuna y col., 2000).

Existen diferencias entre la porosidad según el tipo de almidón. Algunos poros son creados durante la acumulación del almidón en el tejido de la planta y algunos son formados durante los procesos térmicos o hidrotérmicos, cuando el amilosa migra desde el interior del gránulo hacia capas exteriores y superficiales. Otros poros se forman por daño mecánico o golpes durante el tratamiento de los granos. El sitio de esos poros y el área de la superficie de los gránulos de almidón influyen en las propiedades fisicoquímicas del almidón y la susceptibilidad a la modificación (Fortuna y col., 2000).

### **C. Gelatinización y formación de pasta**

El almidón es usualmente procesado en tratamientos térmicos en presencia de agua, para romper su estructura cristalina nativa, fenómeno conocido como gelatinización. En un ambiente de exceso de agua (> 90% p/p), y por encima de la temperatura de gelatinización, el gránulo de almidón pierde su orden cristalino nativo se hincha de forma irreversible (Parker y Ring, 2000), es decir, la gelatinización es una transición de fase de un estado ordenado a un estado desordenado. Esta transición siempre implica pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hidratación del almidón y pérdida de orden anisotrópico o birrefringencia (Rodríguez y col., 2006).

La temperatura de gelatinización es un intervalo, ya que los gránulos tienen diferente composición y grado de cristalinidad aunque provengan de la misma fuente botánica, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros (Badui, 2006).

En las regiones amorfas probablemente se lleva a cabo el hinchamiento inicial, donde los polímeros son más susceptibles a la disociación. Cuando la estructura comienza a debilitarse, el gránulo se embebe en agua y se hincha (Rodríguez y col., 2006).

Si se prolonga el calentamiento y se alcanza la temperatura de gelatinización el gránulo continúa su hinchamiento, a temperaturas menores a 100°C y en ausencia de un esfuerzo de cizalla, el gránulo rico en amilopectina sólo se hincha manteniendo su integridad (Tharanatha, 2005).

Los cambios en la estructura del gránulo debido a la gelatinización pueden ser observados por medio de una evaluación microscópica del almidón; ésta es posible utilizando un equipo de microscopía de luz polarizada cuantificando la pérdida de la birrefringencia en la muestra de almidón durante el calentamiento con exceso de agua; la pérdida de birrefringencia es usada como indicador de la gelatinización. Además, la microscopía se usa para definir la fuente de un almidón en particular, porque el tamaño y forma de los gránulos son característicos de su origen botánico (Mariotti y col., 2005).

El proceso de gelatinización puede usarse como sinónimo de la formación de la pasta. Aunque no hay puntos definitivos en el fin de la gelatinización y el comienzo de la formación de la pasta, el cual es generalmente relacionado con el desarrollo de viscosidad (Thomas y Atwell, 1999); así la formación de la pasta es un proceso separado o una continuación de la gelatinización, que ocurre con el calentamiento continuo de los gránulos de almidón gelatinizados (Vaclavik y Christian, 2008).

Cuando el calentamiento continúa y más gránulos comienzan a hincharse, la viscosidad del medio incrementa. La viscosidad de la pasta alcanza un máximo cuando hay un mayor porcentaje de hinchamiento, los gránulos presentes están intactos, este suceso es referido como el pico de viscosidad, en este punto el almidón está completamente en la formación de la pasta. Para los almidones nativos, el continuo calentamiento eventualmente resulta en una disminución de viscosidad cuando los gránulos se disuelven y el polímero está también disuelto (Thomas y Atwell, 1999).

El fenómeno de formación de la pasta seguida de la retrogradación en la disolución del almidón, involucra el hinchamiento, exudación de los componentes moleculares del gránulo, y eventualmente total disrupción de los gránulos (Thomas y Atwell, 1999).

#### **D. Retrogradación**

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 (Rodríguez y col., 2006).

La retrogradación es especialmente evidente cuando el almidón contiene amilosa. El amilosa forma una red tridimensional cuando las moléculas de glucosa se asocian al enfriarse, y es responsable de la gelatinización en el cocimiento y enfriado de las pastas de almidón (Badui, 2006).

La retrogradación es la pérdida parcial de solubilidad y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela e interaccionan por medio de puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos, esto se puede efectuar por diferentes rutas según la concentración y temperatura del sistema.

En el enfriamiento a temperatura ambiente, las moléculas del almidón gelatinizado presentan una fuerte tendencia hacia la cristalización (Vaclavik y Christian, 2008), menor energía está disponible para mantener las moléculas del almidón separadas, dando como resultado la formación de agregados cristalinos y texturas de gel, las moléculas lineales de amilosa tienen una gran tendencia a reorganizarse y formar puentes de hidrógeno más largos que en las moléculas de amilopectina (Thomas y Atwell, 1999).

Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, lo cual se relaciona con su contenido de amilosa; es más difícil que la amilopectina la desarrolle, debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes; sin embargo, si las disoluciones de almidón se congelan y descongelan continuamente, se produce su pérdida de solubilidad. Las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida que, para romperse y permitir la gelatinización del almidón, requiere de alta energía (Badui, 2006).

La retrogradación es un fenómeno natural de todos los almidones gelatinizados, pero existen factores que aumentan y favorecen este fenómeno (Vaclavik y Christian, 2008):

- Formación inadecuada del gel, las estructuras resultantes de amilosa son frágiles y pierden la capacidad para atrapar agua.
- El amilosa retrograda y recristaliza.
- El gel se expone a los efectos de la congelación y la descongelación, el agua es enfriada y descongelada, creando formas de los cristales fundidos y no es capaz de reasociarse con el almidón, y es evidente la pérdida de agua.

Cuando ocurre la retrogradación, la pasta de almidón comienza cada vez más a opacarse y formar un gel cortable, con el tiempo este gel se hace gomoso y tiene una tendencia a liberar agua. La liberación de agua es conocida como

sinéresis y es comúnmente encontrada en los productos de alimentos como salsas y dips que son formulaciones con almidones sin modificar que contienen amilosa (Thomas y Atwell, 1999).

### **E. Valor nutritivo**

La mayoría de la gente consume una cantidad de carbohidratos superior a 100 g/día. Los carbohidratos proporcionan una fuente de energía rápidamente disponible para el metabolismo oxidativo y los alimentos que los contienen son el medio de transporte de muchos micronutrientes importantes. El consumo sustancial también facilita la reducción de los ácidos grasos saturados, lo que se asocia con una disminución del riesgo cardiovascular. La FAO/OMS recomendó que, en una dieta óptima, al menos 55% de la energía total debe provenir de carbohidratos obtenidos de una variedad de fuentes alimenticias. Se considera aceptable una amplia gama de aportes (como máximo un 75% del valor energético total debería provenir de carbohidratos). Este nivel de ingesta representa un incremento apreciable sobre el consumo actual en la mayoría de los países occidentales (Bowman y Russell, 2003).

Los procesos enzimáticos en el sistema digestivo son capaces de convertir todas las moléculas complejas del almidón en glucosa. El valor energético es de 4 kcal/g (17 kJ/g) válido para todo tipo de almidón y sus productos de hidrólisis. La velocidad de asimilación de varios carbohidratos depende del tamaño de sus moléculas y del contenido de glucosa (Linden y Lorient, 2000).

Una propiedad nutricional de un almidón de interés particular es la susceptibilidad a la digestión. Los almidones no son degradados rápidamente por las enzimas digestivas humanas en el intestino proximal, se ha asociado con beneficios a la salud debido a la lenta salida de glucosa al torrente sanguíneo implicando una reducción en la respuesta postprandial de glucosa y de insulina (Copeland y col., 2008).

No todos los almidones aportan las mismas calorías o son capaces de ser digeridos dentro del cuerpo humano como es el caso del almidón resistente, siendo un ejemplo de éste la fibra contenida en las leguminosas (Vaclavik y Christian, 2008). Un almidón resistente también puede ser aquel almidón que ha sufrido cambios en su estructura ocasionados por el proceso de manufactura del alimento, como la retrogradación, modificaciones químicas o debido a interacciones con otros constituyentes dentro del alimento, especialmente lípidos (Copeland y col., 2008).

El almidón resistente y algunos oligosacáridos no son digeridos dentro del intestino delgado y el proceso fermentativo es metabólicamente menos eficiente cuando la digestión y la absorción son incompletas, esos carbohidratos proporcionan menos energía al organismo.

El almidón no digerible o parcialmente digerible que pasa de la parte proximal del intestino a la distal es considerado como un prebiótico, el cual es un sustrato adecuado para generar beneficios en la microflora intestinal asociados con la salud del colon (Copeland y col., 2008).

El valor energético de todos los carbohidratos debe reevaluarse, la FAO/OMS recomienda que el valor de los carbohidratos que llegan al colon se establezca en 2 kcal/g (8 kJ/g) (Bowman y Russell, 2003).

### **2.1.2 Fuentes de almidón**

El almidón es el más económico y el más versátil de todos los nutrientes. El contenido de este en el maíz, el trigo y las papas es 71, 76 y 74% de almidón (en materia seca) respectivamente, éstos son la materia prima agrícola más frecuentemente usada para extraer el almidón. El arroz y la yuca contienen más almidón (aproximadamente 90% en materia seca,) son dos fuentes importantes, pero los rendimientos de almidón son menores. Las características especiales del

almidón dependen de cada materia prima y determinan su valor como un agente de textura (Linden y Lorient, 2000).

Los vegetales, raíces y tubérculos, incluyendo la raíz de yuca, y las papas son utilizados como fuentes de almidón en la elaboración de formulaciones libres de gluten, debido a que el trigo produce alergias, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda el uso de estas fuentes de almidón en la elaboración de alimentos industrializados.

Otra fuente de almidón son las leguminosas como la soya o los garbanzos, estos almidones son ricos en amilosa, la cual favorece la retrogradación (Tharanatha, 2005).

Algunas frutas también son fuente de almidón, su concentración varía según el estado de madurez; el plátano y el mango, en estado verde o inmaduro alcanzan concentraciones importantes de este polisacárido (Manrique-Quevedo, 2007).

Por su importancia en la elaboración de los alimentos procesados, a continuación describiremos algunas de las características de los almidones obtenidos a partir del maíz.

#### **A. El maíz**

Los granos de maíz son heterogéneos, tanto en su tamaño como en su forma. Las dimensiones oscilan entre 8 y 17 mm, para el grande, y entre 5 y 15, para el pequeño. El peso medio es de 285 mg. El grano puede ser redondo o dentiforme (Callejos y col., 2002).

Aunque la forma, el tamaño, la estructura y la composición del grano de maíz son determinadas genéticamente, es una fuente importante para la obtención del almidón, que está constituido básicamente por 27% de amilosa y 73% de

amilopectina aproximadamente, aunque esta proporción cambia de acuerdo a la variedad del maíz.

La mayor parte del maíz que se destina a la alimentación se procesa por molienda, ya sea por vía seca o por vía húmeda. La molienda seca del grano de maíz persigue la separación de las diferentes partes anatómicas del grano; permite la obtención de harinas y sémolas (“grits”) de diferente granulometría, con distintos usos para alimentación humana (Callejos y col., 2002).

La molienda húmeda separa los diferentes componentes químicos del grano. Se utiliza para la obtención de almidón. La creciente utilización de edulcorantes basados en maíz, ha resultado en una expansión de las industrias de la molienda húmeda (Callejos y col., 2002).

### **2.1.3 Tipos de almidón**

El almidón también es considerado como una fuente de carbohidratos capaz de procesarse, por medio de tratamientos térmicos, químicos o enzimáticos, en una variedad de productos intermediarios usados en casi todos los sectores agro-alimentarios industriales, como también en numerosas aplicaciones no alimentarias. Este intervalo amplio de productos puede clasificarse dentro de tres grupos (Figura 8):

- Almidones en estado natural (almidones nativos)
- Almidones modificados
- Almidones hidrolizados

#### **A. Almidones nativos**

El almidón es extraído de la semilla utilizando un proceso de molienda húmeda. El proceso se basa en la molienda gradual y una operación de centrifugación separando el almidón de la celulosa, lípidos y proteínas. El almidón es lavado y secado (Linden y Lorient, 2000).

Los almidones nativos son frecuentemente limitados en sus aplicaciones en los alimentos, debido a la textura cohesiva, sensibilidad al calentamiento y a la fuerza de cizalla, forman geles opacos y poco viscosos. En el almacenamiento hay un alto porcentaje de retrogradación y precipitación ocasionando problemas adicionales (Sajilata y Singhal, 2005).

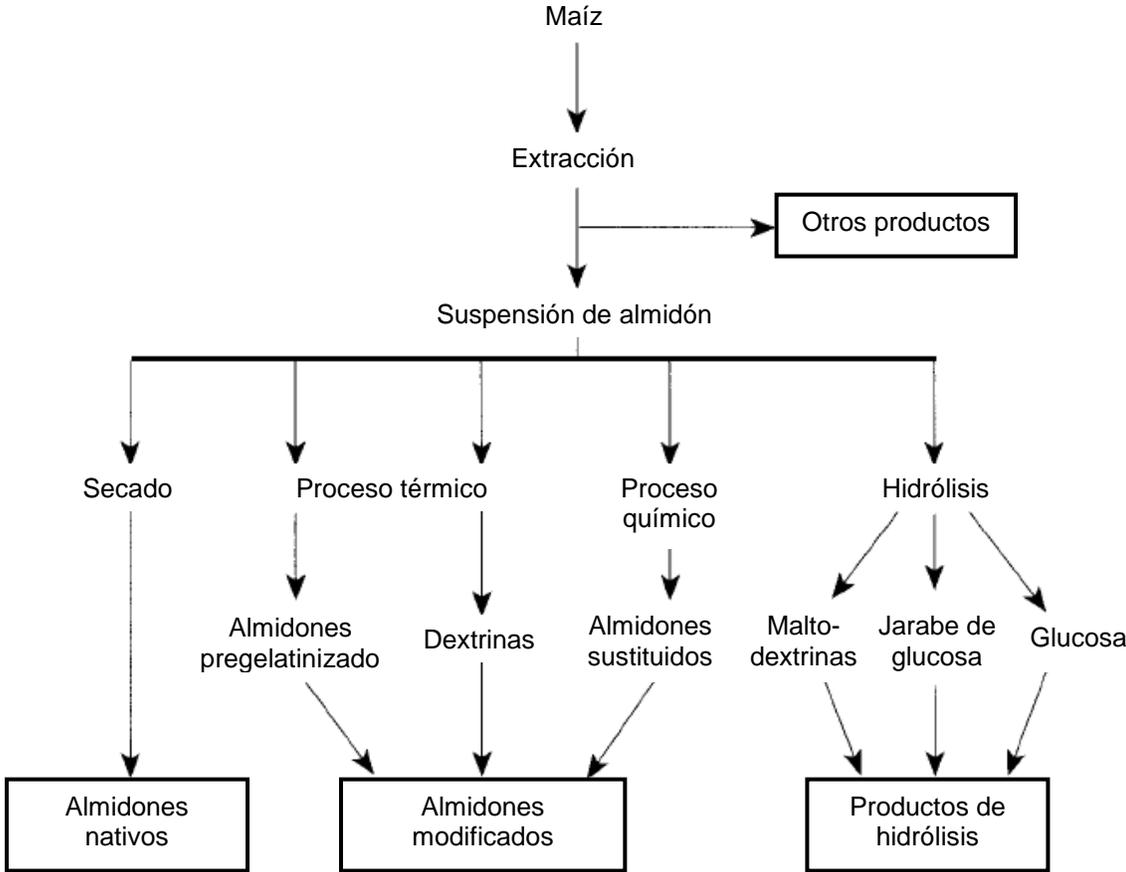


Figura 5. Manufactura de productos de almidón de maíz (Linden y Lorient, 2000).

En términos generales, los almidones nativos contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina (Cuadro 2). Algunos cereales como el maíz, sorgo y el arroz, tiene variedades llamadas “céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90% de

amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal (Badui, 2006).

Cuadro 2. Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.

<b>Fuente de almidón</b>	<b>Amilopectina (%)</b>	<b>Amilosa (%)</b>	<b>Temperatura de gelatinización (°C)</b>	<b>Tamaño del gránulo (µm)</b>
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente: Badui (2006)

Los almidones céreos son derivados de algunas fuentes naturales como la cebada, el maíz, el arroz o el sorgo, estos no contienen amilosa, comienzan a espesar a temperaturas menores, forman pastas menos densas y retrogradan en menor proporción que el resto de los almidones. El almidón de maíz céreo, por ejemplo, no muestra las propiedades de formación de un almidón de maíz común, ya que éste no contiene amilosa, pero sí amilopectina y es muy utilizado como agente espesante (Cuadro 3); las variaciones en las proporciones de las moléculas les confieren propiedades diferentes en las pastas de sus respectivos almidones (Vaclavik y Christian, 2008).

Cuadro 3. Funcionalidad de las diferentes variedades de almidón de maíz de acuerdo a la proporción de sus constituyentes.

<b>Variedad de almidón nativo</b>	<b>Características</b>
Almidón céreo	No contiene amilosa, es todo amilopectina y no forma gel
Almidón de maíz común	Contiene 27% de amilosa y forma gel
Almidón de maíz con alto contenido de amilosa	Contiene 55% de amilosa y forma gel

Fuente: Vaclavik y Christian (2008).

## **B. Almidones hidrolizados**

A partir de la hidrólisis del almidón se obtienen distintos derivados, como la glucosa y las dextrinas, todos ellos ampliamente usados en la elaboración de un gran número de alimentos, e incluso en muchas otras industrias de productos no comestibles. Una gran variedad de productos pueden obtenerse por la hidrólisis de almidón utilizando varios almidones como el de maíz, trigo, papa y tapioca. Los jarabes de glucosa son productos de la hidrólisis de almidón con variaciones en la cantidad de monómeros de glucosa, dímeros, oligosacáridos y polisacáridos (DeMan, 1999).

El almidón puede hidrolizarse por ácidos o enzimas o la combinación de ambos tratamientos. La hidrólisis puede ocurrir hidrolizando específicamente el enlace glucosídico  $\alpha(1-4)$ , el enlace  $\alpha(1-6)$  o ambos tipos de enlaces. La hidrólisis ácida tiene la ventaja de ser completa y rápida, pero presenta desventajas con respecto al color y la concentración de sales, generadas durante el proceso de neutralización (Linden y Lorient, 2000).

Dependiendo del método de hidrólisis utilizado, puede obtenerse diferente composición con amplio intervalo de propiedades funcionales y los hidrolizados no son afectados por el tipo de almidón (DeMan, 1999).

La viscosidad de los productos de la hidrólisis de almidón depende de la temperatura, la concentración del carbohidrato y especialmente de su equivalente de dextrosa (ED), definido como la cantidad de azúcares reductores presentes como dextrosa y calculado como un porcentaje total en materia seca. La capacidad de aumentar la viscosidad disminuye cuando el ED aumenta, productos con bajo ED son utilizados como agentes espesantes mientras que los productos con altos ED se han encontrado aplicaciones importantes en las propiedades plastificantes (DeMan, 1999).

### **C. Almidones modificados**

Los almidones pueden modificarse dando propiedades específicas en los alimentos procesados en los que se usan almidón de maíz, arroz, trigo entre otros, el conocimiento en las propiedades de los diferentes almidones es de suma importancia en la industria de los alimentos (Vaclavik y Christian, 2008).

Las propiedades de los almidones son modificadas por una variedad de métodos físicos o químicos que alteran la estructura del almidón; estas modificaciones tienen por objeto corregir algunas de las características no deseables en los alimentos procesados tales como inestabilidad, separación de fases, aumento en la sinéresis, poca viscosidad o consistencia, y también para aumentar y mejorar la versatilidad del almidón y satisfacer las demandas de los consumidores. Las modificaciones adicionan significativamente valor, ayudan a alcanzar un desarrollo y una variedad de alimentos procesados con diversidad en texturas y propiedades sensoriales (Tharanatha, 2005).

Además, los almidones modificados presentan más propiedades funcionales que los nativos, por lo que generalmente se emplean más en la industria, como agentes estabilizantes, emulsionantes, humectantes, espesantes, y en productos con distintos pH, sales, sólidos, lípidos, entre otros; es decir, se cuenta con un almidón modificado para cada necesidad (Badui, 2006).

#### **a) Modificación física**

La pregelatinización es la más simple de todas las modificaciones. Es el efecto de la cocción del almidón en suspensión seguido de un secado. Estos almidones son muy útiles en la preparación de comidas rápidas, incluyendo los pudines instantáneos. Los almidones pregelatinizados se dispersan en agua fría y pueden espesar sin calentamiento, contribuyendo a una agradable textura y ayudando a tener otros compuestos en una suspensión uniforme (Vaclavik y Christian, 2008).

La recocción de los almidones es una modificación hidrotérmica, en la que el gránulo de almidón es calentado en exceso de agua a una temperatura cercana a la temperatura de gelatinización (GT), pero por debajo de ésta, aunque no hay total gelatinización del almidón, la recocción conduce a cambios significativos en algunas de sus propiedades (Tharanatha, 2005).

Otro método de modificación física del almidón es el hinchamiento en agua fría (Cold Water - Swelling, CWS), ya que los gránulos de almidón se hinchan en agua fría permaneciendo intactos. Estos almidones pueden formar geles y son instantáneos. Tales almidones son dispersados en agua fría y generalmente son usados en alimentos como los helados, salsas, aderezos, alimentos infantiles y como ingredientes en premezclas horneadas y secas (Vaclavik y Christian, 2008).

Otros métodos empleados son las modificaciones físicas no destructivas y tratamientos hidrotérmicos, como la extrusión (cocción y secado), radiación, sonicación y tratamientos con presiones; el almidón es gelatinizado (parcialmente) disminuyendo los enlaces de hidrógeno (Tharanatha, 2005).

## **b) Modificación química**

La susceptibilidad del almidón a las modificaciones químicas depende de las dimensiones y estructura del gránulo. Los gránulos pequeños son más resistentes a influencias externas y son menos modificables (Fortuna y col., 2000).

La modificación química es el tipo más común de modificación del almidón, es el tratamiento del almidón nativo con reactivos químicos. Esta modificación del almidón cambia su funcionalidad, involucra una reacción asociada con los grupos hidroxilos del polímero de almidón, formando un éter o éster, vía oxidación de los grupos hidroxilo a carbonilo o grupos carboxílicos e hidrólisis de

enlaces glucosídicos, son algunos de los mecanismos más importantes de las modificaciones químicas (Thomas y Atwell, 1999).

De las modificaciones del almidón derivan productos de separación de los enlace glucosídicos (la modificación ácida produce dextrinas), o formación de grupos funcionales (formación del grupo carbonilo durante la oxidación), sustitución libre del grupo hidroxilo (por eterificación o esterificación), formación de puentes entre las cadenas moleculares por reacciones cruzadas (Figura 6).

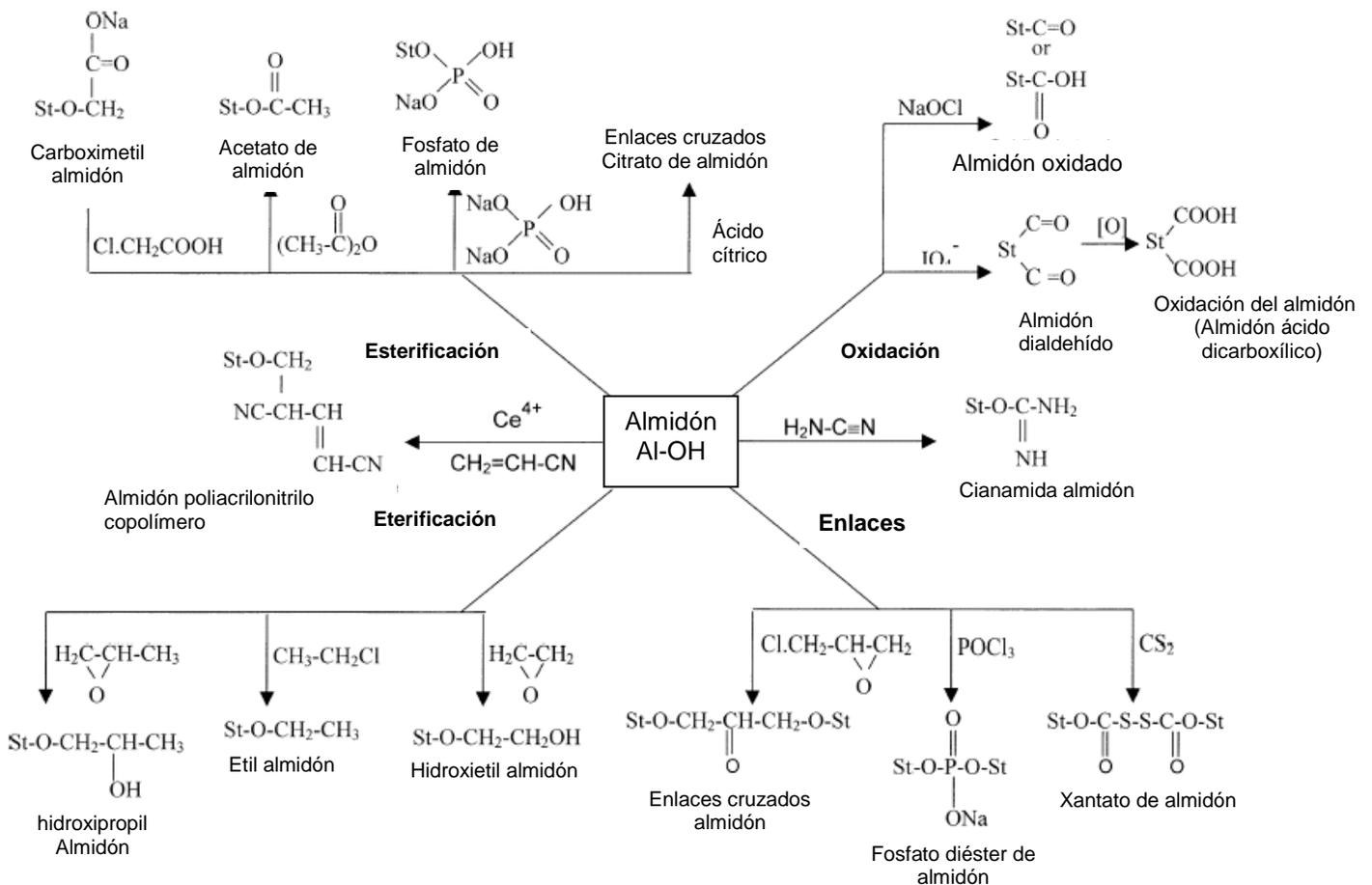


Figura 6. Reacciones de modificación química del almidón (Tharanatha, 2005).

Los almidones modificados químicamente muestran cambios importantes en sus propiedades y funciones, por ejemplo las reacciones de sustitución generan propiedades espesantes, contribuyen a la estabilidad del alimento y de la textura, son menos viscosos en caliente, pero forman un gel fuerte al enfriarse. Este tipo de almidones son empleados en la industria de alimentos para infantes y en la elaboración de productos de panadería (Cuadro 4).

Cuadro 4. Propiedades y aplicaciones de los almidones modificados en los alimentos procesados.

<b>Proceso</b>	<b>Función/propiedad</b>	<b>Aplicación</b>
Conversión ácida	Disminución en la viscosidad	Gomas dulces, formulación de alimentos líquidos
Oxidación	Estabilizante, adhesión en el gel, clarificación	Formulación de alimentos, masa de panadería, goma de confitería
Dextrinas	Fijador, cobertura, encapsulante, alta solubilidad	Confitería, repostería (brillo), aderezos, especias, grasas, pastas de pescado.
Enlaces cruzados (sustitución de enlaces)	Espesante, estabilizante, suspensión, textura	Relleno de tartas, pan, productos de panadería congelados, budín, alimentos infantiles, sopas, salas, aderezo para ensaladas.
Esterificación	Estabilizante, espesante, clarificante, cuando se combina con enlaces cruzados, sensible con álcali	Dulces, emulsiones, productos gelatinizados a bajas temperaturas
Eterificación	Estabilizante a temperatura baja de almacenamiento	Sopas, pudín, alimentos congelados
Modificación dual	Combinación de propiedades	Panadería, sopas y salas, aderezo para ensaladas, alimentos congelados

Fuente: DeMan (1999).

#### **2.1.4 Interacciones con otros constituyentes**

La mayoría de los alimentos procesados están constituidos por diversos componentes y son sistemas de múltiples fases que contienen mezclas complejas

de agua, polisacáridos, proteínas, lípidos y numerosos constituyentes minoritarios. El almidón presente como un macro constituyente en la mayoría de los alimentos influye definitivamente en las propiedades sensoriales de los alimentos, mismas que están determinadas por las interacciones que tengan con los otros componentes; particularmente la interacción con agua y lípidos es de interés en la industria de alimentos y para la nutrición humana (Copeland y col., 2008).

El tecnólogo en alimentos necesita conocer otros ingredientes que pudieran influir sobre la funcionalidad del almidón. La composición de un producto debería estar en la mente cuando se determinan las propiedades del almidón para un sistema. Por ejemplo, la cantidad de agua presente para hidratar el almidón, la presencia de grasas, aceites y el nivel de sólidos como son las sales y azúcares pueden influir sobre el comportamiento del almidón. En general los ingredientes que tienen una tendencia a formar complejos con el almidón o competir directamente con el almidón por el agua, impactan negativamente la funcionalidad del almidón, particularmente durante la gelatinización y el empaste (Thomas y Atwell, 1999).

La influencia del agua, las sales, las proteínas, entre otros, hace que el almidón pueda cambiar su temperatura y su velocidad de gelatinización, así como otras características. A continuación se discuten los principales agentes que modifican la gelatinización del almidón (Badui, 2006).

### **A. Agua**

Uno de los principales factores que afecta las propiedades funcionales de estos polímeros es la cantidad de agua con la que puede interactuar; la intensidad y el grado de hinchamiento están en función directa de la concentración de este disolvente, de manera que la absorción se facilita a medida que aumenta la concentración (Badui, 2006).

La solubilidad del almidón tiene una importancia en el papel de la reología de las pastas y geles, aunque algunos aspectos funcionales y microestructurales básicos de esta contribución no son claros todavía (Xian-Zhong, 2001).

## **B. Azúcares**

La presencia de glucosa y sacarosa ejerce una competencia por el agua de hidratación, lo que trae consigo cambios en las propiedades reológicas del almidón, ya que reducen la velocidad de la gelatinización y la viscosidad final. El hecho de que una mezcla de almidón y sacarosa absorba menos agua que la calculada matemáticamente, es un reflejo de la interacción que existe y que hace que el polímero no desarrolle toda la capacidad de hidratación (Badui, 2006).

## **C. Polisacáridos**

La viscosidad de las suspensiones de almidón puede incrementarse por la presencia de polisacáridos solubles en agua, por ejemplo, en presencia de goma guar la viscosidad es multiplicada por un factor 10. Otra consecuencia es el nivel de estabilidad del sistema cuando se enfría, la retrogradación es lenta y el porcentaje es bajo (Linden y Lorient, 2000).

El hinchamiento del gránulo de almidón es apenas desequilibrado por la presencia de la goma hidrosoluble. Sin embargo, éste es localizado en la fase continua de la suspensión, con lo que el volumen disminuye cuando el gránulo de almidón aumenta. La consecuencia es un incremento claro en la concentración de la goma en esta fase, resultando un aumento extremadamente exagerado en la viscosidad del medio continuo (Linden y Lorient, 2000).

La existencia de sinergia entre el almidón y otros constituyentes bioquímicos de naturaleza polisacárida o no, ha sido bien conocida por algún tiempo. Este fenómeno es aún desconocido y tiene un potencial apoyado en el trabajo experimental (Manrique-Quevedo y *col.*, 2007).

Dependiendo del espesamiento y gelificación del polisacárido natural, el tipo de almidón y la respectiva concentración, es posible preparar mezclas con una amplia diversidad de propiedades reológicas (Linden y Lorient, 2000).

#### D. Sales

Algunas sales aceleran la velocidad de gelatinización, mientras otras la reducen; la Figura 7 muestra el efecto de las sales de la leche en la viscosidad del polímero: la diferencia de viscosidades entre las curvas B y C se debe fundamentalmente a la acción de las sales y de los azúcares. El almidón no tiene grupos ionizables como otros polímeros (carragenina, pectinas, proteínas) y por lo tanto, debería ser insensible a las sales y a los cambios de pH; sin embargo, en sistemas modelo se ha visto que sí se ve afectado cuando aniones como fosfatos, acetatos, cloruros, citratos, sulfatos y tartratos, y cationes como sodio y calcio, se encuentran en concentraciones muy altas (Badui, 2006).

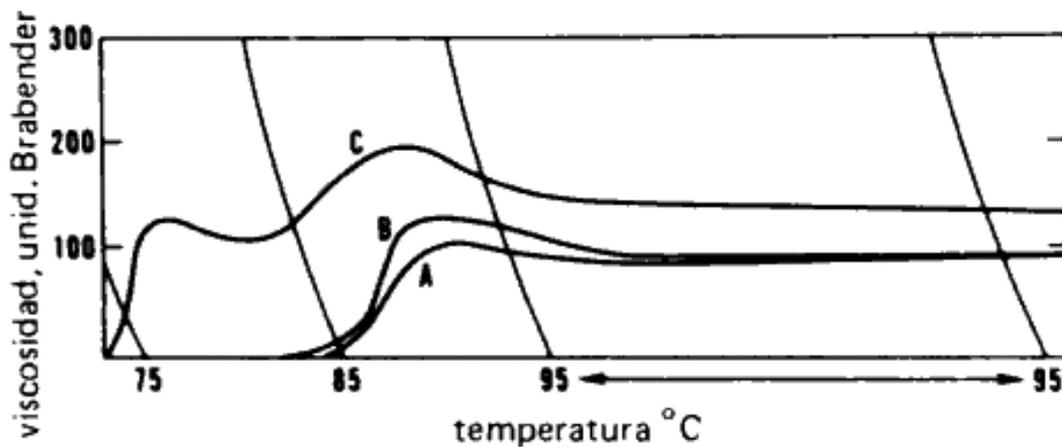


Figura 7. Efecto de la lactosa y de las sales de la leche sobre la viscosidad del almidón: a) en agua; b) en 5% de lactosa y c) en un sistema libre de proteínas (Badui, 2006).

## **E. Proteínas**

La estructura de muchos alimentos está determinada por las interacciones físicas y químicas de las proteínas con el almidón.

Los gránulos de almidón contienen alrededor de 0.3% asociado a proteínas en almidón de cereales y hasta cantidades menores en el almidón de papa. Los estudios muestran que el gránulo puede asociarse a proteínas en su superficie (Xian-Zhong, 2001).

En la industria las proteínas de la leche se emplean conjuntamente con el almidón para la elaboración de diferentes alimentos en los que se requieren ciertas propiedades funcionales; la temperatura de gelatinización en presencia de proteínas lácteas depende, en gran medida, de los tratamientos térmicos previos a los que se somete la leche, ya que esto determina el grado de desnaturalización, mismo que influye en las propiedades del almidón. Sin embargo, se ha encontrado que en la manufactura de geles de almidón-leche no se produce una verdadera interacción, de forma que las micelas de caseína y los gránulos de almidón se pueden observar separadamente al microscopio (Badui, 2006).

## **F. Emulsificantes y lípidos**

Los emulsionantes que contienen ácidos grasos de cadena larga forman complejos con el amilosa a través de un mecanismo que parece ser muy similar al descrito para el de yodo - amilosa; cuando contienen más de 16 átomos de carbono reducen la velocidad de hinchamiento de los gránulos y aumenta su temperatura de gelatinización; se ha encontrado que, independientemente del tipo de emulsión utilizado, la viscosidad máxima de las pastas de almidón es muy similar, y lo único que varía es la temperatura a la cual se alcanza la reacción. Por otra parte, los hidrocarburos de cadena corta y los triacilglicéridos reducen la temperatura de gelatinización, sin importar el tipo de ácido graso que contengan (Badui, 2006).

La mayoría de los glucanos no pueden establecer interacciones con los lípidos. Solamente el amilosa puede formar complejos teniendo muchas estructuras en particular con los lípidos. Tres categorías de lípidos son conocidas que forman complejos con la amilosa, estos son lípidos monoacilados: libres de ácidos grasos, lisofosfolípidos y monoglicéridos (Linden y Lorient, 2000).

## **G. El pH**

Una de las propiedades de los alimentos que necesita ser considerada es el pH. El pH de un producto no solamente influye sobre los ingredientes funcionales, también es un parámetro importante que dicta el proceso de conservación de los alimentos; por ejemplo, el pH es un factor crítico que determina el tipo de proceso térmico que requiere el alimento para la esterilidad comercial (como la relación del crecimiento microbiano y alimento sanitario). Los requerimientos del proceso térmico para alimentos de alta acidez (pH < 3.7), alimentos ácidos (pH 3.7-4.5), y alimentos de baja acidez (pH > 4.5) difieren uno del otro y deben recibir tratamientos específicos (Thomas y Atwell, 1999).

Los valores de pH menores de 5 o mayores de 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción. En condiciones muy alcalinas la temperatura de gelatinización decrece considerablemente, mientras que en condiciones muy ácidas se favorece la hidrólisis del enlace glucosídico con la consecuente pérdida de la viscosidad (Figura 8) (Badui, 2006).

Las condiciones ácidas pueden tener un impacto dramático en la viscosidad de la pasta, textura y estabilidad. Los almidones nativos (sin modificar) son típicamente inestables bajo condiciones ácidas, son susceptibles en su viscosidad mínima durante el procesado y puede también resultar el desarrollo de una textura débil (Thomas y Atwell, 1999).

La estabilidad en un ambiente ácido es una de las principales razones por las que los almidones son modificados químicamente. En general, el alto grado de

entrecruzamiento hace más tolerantes a los almidones en medios ácidos (Thomas y Atwell, 1999).

Aunque el pH neutro tiene menor efecto sobre la viscosidad del almidón, generalmente el proceso térmico requerido en la conservación de alimentos de baja acidez es severo. Por esta razón, los almidones modificados son también requeridos para los productos de baja acidez que requieren un proceso térmico más severo (Thomas y Atwell, 1999).

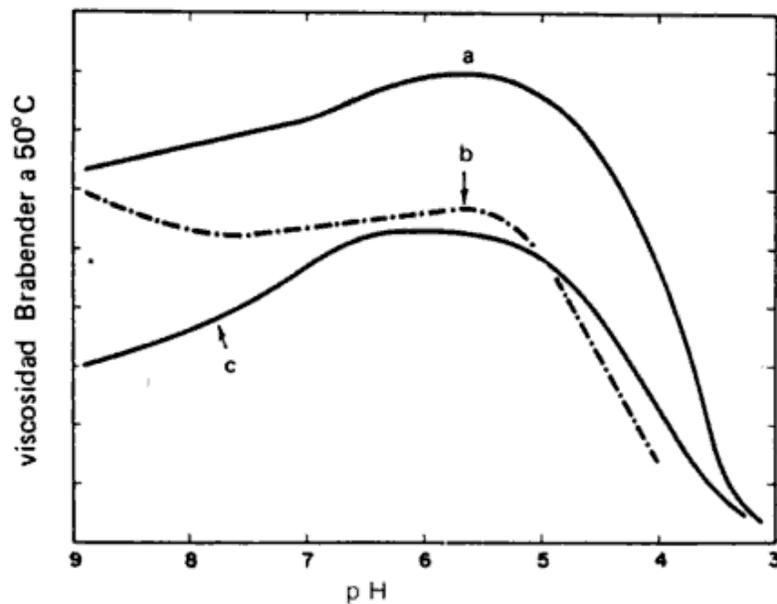


Figura 8. Efecto del pH sobre la viscosidad de algunos almidones: a) maíz; b) papa y c) sorgo (Badui, 2006).

### 2.1.5 Características de las pastas

Los almidones son utilizados en una gran variedad de alimentos y en la fabricación de los mismos, principalmente para formar pastas de texturas suaves y geles (Xian-Zhong, 2001).

Los almidones pueden clasificarse con base en las propiedades de las pastas. Los almidones de cereales (maíz, trigo, arroz y sorgo) forman pastas viscosas y geles opacos en frío. Los almidones de raíces y tubérculos (papas,

yuca, tapioca) forman pastas altamente viscosas, éstas son generalmente claras y forman geles débiles en frío (DeMan, 1999).

Los almidones de tubérculos al compararse con almidones de cereales muestran una temperatura relativamente menor de gelatinización (aproximadamente 60°C) y un rápido incremento en la viscosidad (Fortuna y col. 2000).

Los almidones céreos (maíz céreo, sorgo y arroz) forman pastas densas, firmes, claras y tienen una baja tendencia a formar geles. Los almidones con alto contenido de amilosa (de maíz) requieren altas temperaturas para gelatinizar y forman pastas muy firmes que al enfriarse se convierten en geles opacos (DeMan, 1999).

Sin embargo, los almidones con alto porcentaje de amilopectina forman una pasta espesa pero no un gel, las moléculas de amilopectina son diferentes a las de amilosa, no se asocian y no forman uniones químicas. (Vaclavik y Christian, 2008).

Las propiedades fisicoquímicas del almidón tienen efecto sobre las características y la temperatura de formación de la pasta (Fortuna y col. 2000) y dependiendo del nivel de espesamiento y gelatinización del polisacárido, el tipo de almidón y las respectivas concentraciones (amilosa, amilopectina), es posible preparar pastas con gran diversidad de propiedades reológicas (Linden y Lorient, 2000).

El comportamiento de las pastas de diferentes almidones es frecuentemente comparado usando el Rapid Visco-Analyzer (RVA). En este instrumento una suspensión de almidón en agua es calentada en un tiempo corto a 95 °C, después la temperatura disminuye a 50 °C, la viscosidad disminuye debido a la interrupción de la gelatinización de los gránulos de almidón. En el enfriamiento las moléculas de amilosa comienzan a organizarse formando un precipitado o un gel que incrementa en viscosidad y opacidad (Xian-Zhong, 2001).

## **A. Perfil de cocción (RVA)**

La viscosidad se define como la resistencia interna que presentan los líquidos a fluir cuando se les aplica un esfuerzo cortante o fuerza de cizalla, representa la fricción entre las diversas capas de flujo que les impiden deslizarse libremente (Cubero y col 2002).

El camino más común para obtener el perfil de viscosidad de una pasta de almidón es por medio de la cocción de una suspensión de almidón a una velocidad de calentamiento definida por un programa de enfriamiento y registro de la viscosidad en función de la temperatura y tiempo (Figura 9). En esta curva pueden observarse las variaciones en la viscosidad como consecuencia de los cambios en la estructura de los gránulos, que ocurren durante la gelatinización y retrogradación del almidón, así como de actividades endógenas de la  $\alpha$ -amilosa (Figura 9) (Mariotti y col., 2005).

En años recientes nuevas tecnologías se han desarrollado para estudiar el comportamiento de las suspensiones de almidones, tal es caso del Rapid Visco Analyser (RVA), el cual requiere de tiempos cortos de análisis y tamaños de muestra menores en comparación con otros instrumentos de funcionamiento similar. Además proporciona un amplio número de velocidades de calentamiento/enfriamiento para aplicar en las suspensiones de almidones (desde 1.57 °C a 10 o 127 °C/min) (Mariotti y col., 2005).

Durante la prueba en el RVA, la muestra es sometida a un periodo de temperatura alta (normalmente de 95° C) y cizalla ambas constantes. Conforme la temperatura aumenta, los gránulos siguen hinchándose y con el tiempo se revientan (Figura 9). El amilosa que es relativamente soluble lixivia hacia la disolución, seguida por la amilopectina en menor proporción en algunos casos. Debido a la cizalla que se aplica, estos polímeros tienden a alinearse. Estos procesos combinados dan paso a la gelatinización conocida como empaste (Xian-Zhong, 2001).

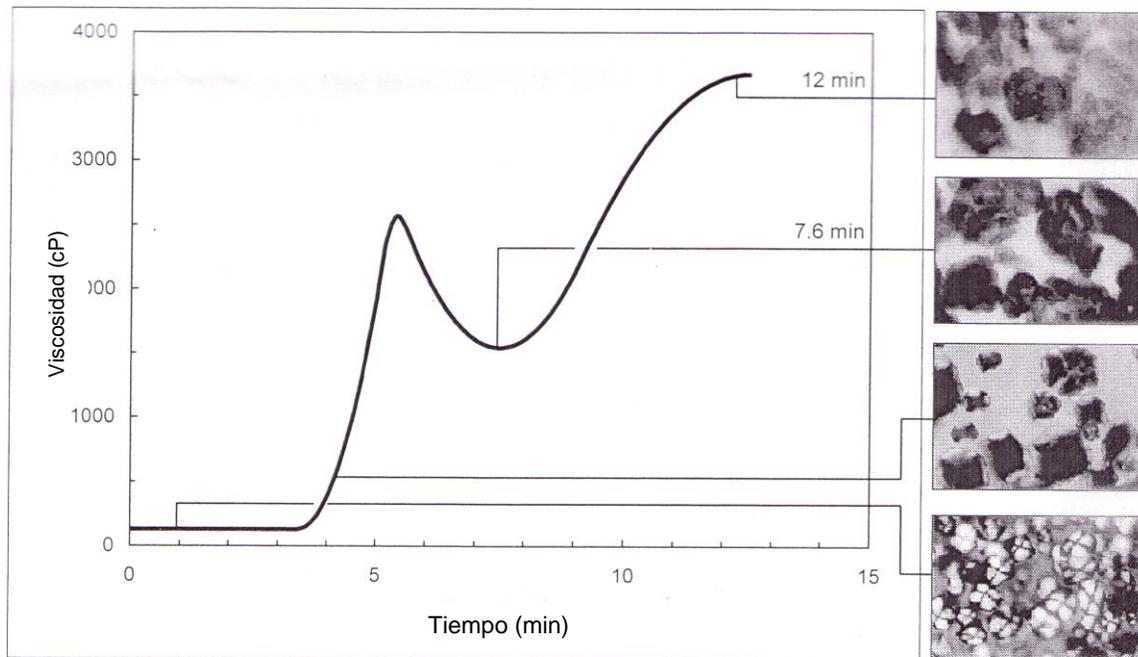


Figura 9. Cambios en la estructura de los gránulos de almidón debidos al calentamiento y su correspondiente perfil de viscosidad:

1 min gránulos intactos muestran la típica cruz de malta.

4 min hinchamiento parcial de los gránulos y pérdida de su birrefringencia.

7.6 min hinchamiento completo y colapso de los gránulos

12 min restos de gránulos y fragmentos de la matriz de amilosa lixiviada (Thomas y Atwell, 1999).

La viscosidad máxima ocurre en el punto de equilibrio entre la dilatación del gránulo y el polímero que lixivia lo que hace que la viscosidad aumente y entre la ruptura y el alineamiento del polímero, lo que hace que la viscosidad disminuya (Figura 9). A la temperatura y el tiempo que corresponden a la viscosidad máxima se les conoce como temperatura máxima y tiempo máximo. La viscosidad máxima indica la capacidad del almidón o de la mezcla para unirse con el agua. Con frecuencia se correlaciona la viscosidad máxima con la calidad del producto final y también indica la viscosidad que muy probablemente ha de encontrarse a través del mezclado y calentamiento de la muestra (Figura 10).

Los gránulos sufren una disrupción mayor mientras las moléculas de amilosa continúan lixiviando hacia la disolución y se alinean. Este periodo generalmente se acompaña por una reducción en la viscosidad, la cual con el tiempo alcanza un valor mínimo (Figura 10). Esta viscosidad se refiere a la viscosidad mínima (viscosidad de la pasta en caliente). La rapidez y la extensión de la reducción desde la viscosidad máxima dependen de la temperatura, del nivel de mezclado o del esfuerzo cortante que se aplica a la mezcla y de la naturaleza del material mismo (Thomas y Atwell, 1999).

La capacidad de una muestra para soportar este calentamiento y el esfuerzo cortante es un factor importante en muchos procesos. Por ejemplo, los almidones entrecruzados resisten tales condiciones (Mariotti y col., 2005).

Durante la prueba en el RVA se observa el cambio de la viscosidad de la muestra cuando es calentada. En una prueba rápida, la temperatura está por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón y por lo tanto la viscosidad es menor. Cuando la temperatura se eleva por encima de la temperatura de gelatinización, los gránulos comienzan a hincharse (Figura 9). La fuerza de cizalla registra un incremento en la viscosidad causado por el hinchamiento de los gránulos. La temperatura en el inicio de este incremento en la viscosidad es conocida como la temperatura de empaste; este valor nos indica la temperatura mínima requerida en una muestra para aumentar su viscosidad, esto puede tener implicaciones para la estabilidad de otros componentes en una formulación de alimentos y también en los costos de la energía (Figura 10).

Conforme la mezcla se enfría subsecuentemente, ocurre una reasociación entre las moléculas del almidón, particularmente del amilosa, ocurriendo en mayor o menor grado. Esto generalmente origina la formación de un gel debido a la suficiente concentración del almidón. La viscosidad aumenta normalmente y se estabiliza en una viscosidad final (Figura 10). La viscosidad final es comúnmente un parámetro que se utiliza para definir la calidad de una muestra en particular e

indica la capacidad del material para formar una pasta viscosa o un gel después del calentamiento y el enfriamiento (Karim y Norziah, 2000).

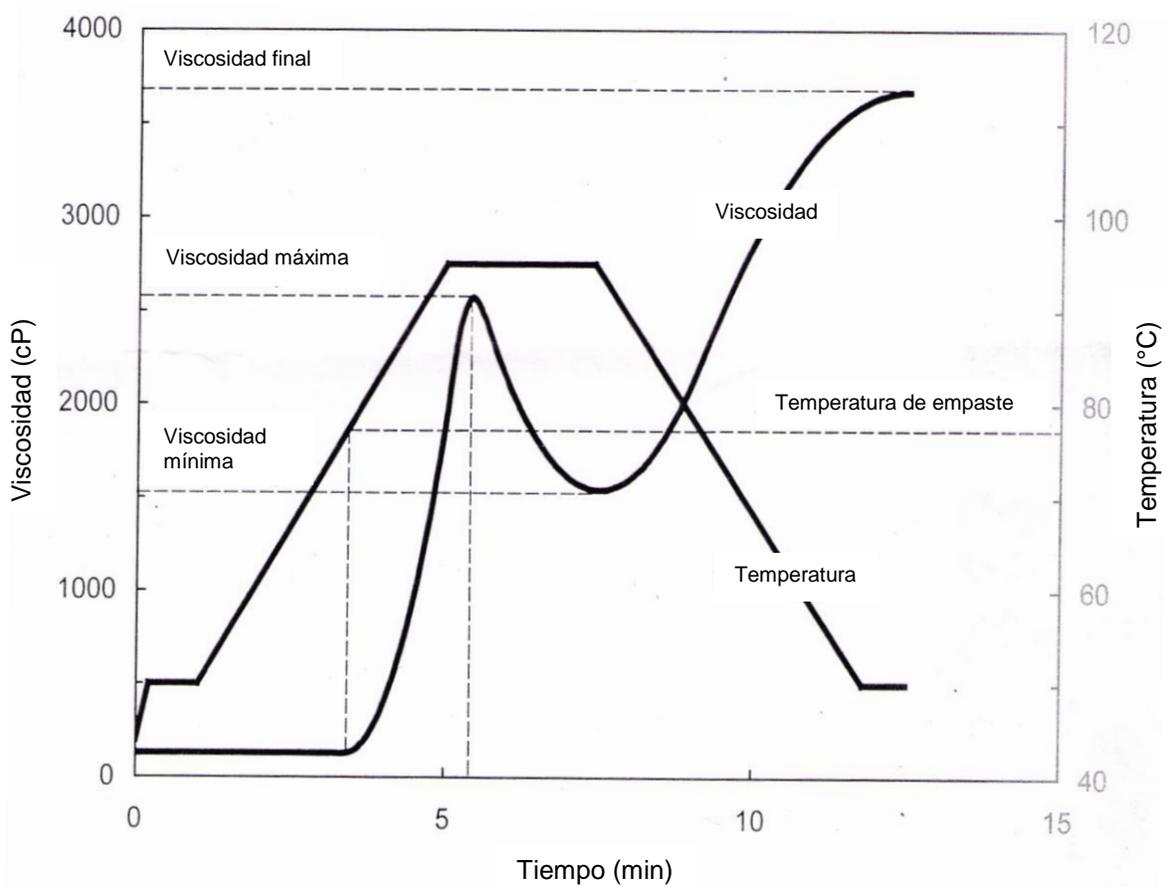


Figura 10. Curva típica del perfil de cocción (RVA) de un almidón y sus propiedades (Karim y Norziah, 2000).

A la fase de la curva del empaste entre la viscosidad mínima y la viscosidad final se le llama la región del asentamiento (setback). Este término está relacionado con la tendencia de las moléculas presentes en la pasta caliente a asociarse o retrogradar cuando la temperatura de la pasta disminuye; es un índice que permite estimar el grado de retrogradación que ha sufrido la suspensión de almidón. Así, a mayor valor de este índice mayor tendencia del almidón a retrogradar. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la

cual está relacionada con el contenido de amilosa, la longitud de esta molécula y el estado de dispersión de las cadenas lineales, a mayor contenido de amilosa, mayor posibilidad a retrogradar (Rincón y col., 2007).

Cuando se examinan algunos almidones, tales como el de arroz, la viscosidad final no podría llegar a un valor estable. En tales casos, la pérdida se mide como la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad mínima. La pérdida involucra una retrogradación o reordenamiento de las moléculas del almidón. La pérdida de las muestras con base de almidón puede ser muy marcada. Se ha correlacionado a esta pérdida con la textura de varios productos. Por ejemplo, a una pérdida alta también se le asocia con la sinéresis, durante ciclos de congelación y descongelación. A los almidones sustituidos se les emplea comúnmente donde lo anterior presenta un defecto de calidad (Mariotti y col., 2005).

El RVA está comenzando a incrementar su popularidad en los análisis de la gelatinización y empaste de los almidones, en este instrumento se ejecutan programas que controlan el mezclado, calentamiento y enfriamiento generando el perfil de la pasta y la gelatinización altamente reproducible (Thomas y Atwell, 1999).

Los cambios en la viscosidad son registrados por el instrumento y las condiciones del equipo pueden variar dependiendo de la fuente botánica del almidón (Thomas y Atwell, 1999).

## 2.2. El arroz

El grano de arroz presenta una estructura similar al trigo, pero posee menor contenido proteínico y está libre de gluten, por lo que no tiene las propiedades de panificación del trigo. Sin embargo, el arroz presenta la ventaja de una mayor diversidad y facilidad de empleo en la elaboración de múltiples productos (arroz.html).

La mayoría de la producción de arroz es consumida molida y cocida, pero una pequeña porción se consume como harina o la fracción separada del almidón y es usada en la industria farmacéutica, de alimentos y en la elaboración de productos de alimentos para animales. La principal aplicación del almidón de arroz es como acarreador en productos farmacéuticos; en la industria de alimentos el harina y el almidón de arroz se utilizan principalmente por ser ingredientes hipoalergénicos, libres de gluten, de sabor suave y en forma nativa tienen diversas características funcionales (Bao y Bergman, 2004).

Existen diferentes tipos de arroces, que se comercializan y se diferencian de acuerdo con las variedades y el proceso industrial a que son sometidos. El proceso industrial a que es sometido el arroz antes de su comercialización determina grandes diferencias que vienen dadas no solamente por sus características físicas y sensoriales, sino también por sus propiedades nutritivas (arroz.html).

En lo que respecta a las variedades, predominan las que se clasifican por la forma y tamaño del grano: largo, mediano y corto o redondo. Las variedades se diferencian también por su composición química, en particular por el contenido de amilosa y amilopectina, lo que determina la textura y el grado de aglutinación del arroz. A su vez, los arroces con contenido de amilosa muy bajos, en el orden de 0.8-1.3 %, se caracterizan por ser muy adhesivos o pegajosos cuando son sometidos a tratamientos térmicos (Cuadro 5) (arroz.html).

Cuadro 5. Contenido de amilosa en las diferentes variedades de granos de arroz.

<b>Variedad de grano</b>	<b>% Amilosa</b>	
Grano corto	15-20%	Baja amilosa, más gomosos (pegajosos)
Grano medio	18-26%	
Grano largo	23-26%	Alta amilosa, menos gomoso (pegajosos)

Fuente: Vaclavik y Christian, (2008).

El grano corto de arroz es bajo en amilosa, aumenta la viscosidad y retiene ingredientes, es preferible sobre los granos largos por los fabricantes de alimentos procesados (Vaclavik y Christian, 2008).

El grano de arroz por su alto contenido en amilopectina es muy utilizado en la industria de los alimentos, además, por ser el cereal que ofrece un mínimo de desarrollo en alergias es empleado en las formulaciones de los alimentos infantiles (Vaclavik y Christian, 2008).

### **2.2.1 Composición**

La composición del arroz es variable (Cuadro 6), el arroz integral es el más nutritivo, porque contiene mayor proporción de proteínas, aminoácidos, vitaminas del complejo B, en particular tiamina y riboflavina, lípidos, minerales y cantidades apreciables de fibra dietética (arroz.html).

El perfil de aminoácidos del arroz tiene como limitante a la lisina, pero es rico en ácidos glutámico y aspártico, aunque no son aminoácidos esenciales (arroz.html).

Cuadro 6. Composición proximal de diferentes tipos de arroces crudos (g/100 g).

<b>Componente</b>	<b>Arroz integral</b>	<b>Arroz blanco</b>	<b>Arroz precocido</b>
Proteínas	7.5	6.6	8.1
Lípidos	2.7	0.6	1.0
Carbohidratos	76.2	79.3	80.4
Fibra dietética	3.4	2.2	-
Tiamina*	0.41	0.07	0.22
Roboflavina*	0.04	0.05	0.04
Calcio*	33	9	55
Hierro*	1.8	0.8	0.7
Fósforo*	264	108	156
Lisina	0.29	0.24	0.23
Metionina	0.17	0.16	0.20
Triptófano	0.10	0.08	0.11

\*mg/100 g

Fuente: arroz.html

### **2.2.2 Harina de arroz**

El arroz puede ser modificado para permitir variedades en sabor y aromas, puede ser procesado para obtener harinas o almidones (Vaclavik y Christian, 2008).

El harina de arroz se obtiene de la molienda y tamizado del cereal, ya sea del integral o del blanco. El harina de arroz blanco, es purificada y sometida a un proceso de eliminación de grasa presente en el germen y el salvado, por lo cual no se enrancia con facilidad y se conserva por mayor tiempo (arroz.html).

Desde la molienda el arroz contiene alrededor de 90% de almidón, la estructura de esta fracción y las propiedades funcionales son la principal característica de uso para la selección de los cultivares y del almidón de arroz en aplicaciones específicas en la industrial (Bao y Bergman, 2004).

El arroz quebrado (producto de la molienda del grano) de alto a bajo contenido de amilosa y de diversas variedades céreas, es molido para la producción de harinas de diferentes granulaciones y funcionalidades. Existe poca

diferencia en términos de funcionalidad del arroz quebrado comparado con el grano entero molido, pero esto ofrece menor costo. Diversas variedades de arroz con cierta proporción de amilosa - amilopectina son empleadas para diferentes productos a base de harina de arroz. Por ejemplo, a través del mundo se demanda una harina de arroz segura para utilizarse en alimentos para infantes, cereales para el desayuno, dulces, pastas, pan sin levadura y existen botanas elaboradas a base de harina de arroz (Bao y Bergman, 2004).

La diferencia entre el harina y el almidón de arroz es que la mayoría de las proteínas nativas y los lípidos han sido removidos del almidón. El contenido reportado de proteína de la molienda de arroz es 4.5 a 15.9 % (Bao y Bergman, 2004).

El harina de arroz puede prevenir la sinéresis en los productos congelados que son frecuentemente descongelados (Bao y Bergman, 2004).

La extrusión, presión, vaporización del grano entero o quebrado, el secado y molido de las harinas de arroz pregelatinizadas generan cambios funcionales. La calidad de estas harinas procesadas depende enormemente de cada muestra, del método de preparación y del grado de gelatinización, inherentes al perfil químico de las mismas. Por ejemplo, en los Estados Unidos los alimentos para infantes, carne y cereales para el desayuno son principalmente elaborados a base de arroz con bajo contenido de amilosa ( $12 \pm 20\%$ ) y de contenido intermedio ( $20 \pm 25\%$ ), el arroz es empleado para elaborar pasta extrudida, las harinas de arroz céreo son empleadas frecuentemente como agentes espesantes para salsas blancas, “gravies” y pudines (Bao y Bergman, 2004).

### **2.2.3 Valor nutritivo**

El harina de arroz tiene un valor nutritivo semejante a otras harinas de cereales, pero como está libre de gluten no se utiliza en la elaboración de panes y otros derivados de la harina de trigo. El arroz es un alimento libre de alérgenos y

los almidones contenidos en él son fáciles de digerir por los seres humanos, el harina de arroz se emplea extensamente en la alimentación infantil, es aconsejada para las personas celíacas, que son intolerantes al gluten del trigo y otros cereales (arroz.html).

## **2.3 La fibra**

Las fibras son un grupo amplio de polisacáridos, de los considerados estructurales que no son aprovechados metabólicamente por los organismos monogástricos, incluyendo al hombre, pero que cumplen una función muy importante en la salud del individuo (Badui, 2006).

Las fibras dietarias (FD) son típicamente constituyentes comestibles de los alimentos vegetales (o carbohidratos análogos). Definiciones de la FD incluyen ahora compuestos de fermentación completa o parcial en el intestino distal: por lo tanto compuestos parecidos a los oligosacáridos no digeribles (OND) son considerados como FD (FDA/OMS, 1998). En diversos y recientes reportes se resumen los mecanismos de la FD que le permite jugar un papel en el control del consumo de los alimentos y el control de peso (Delzenne y col., 2007).

### **2.3.1 Estructura y composición**

La fibra está constituida por los componentes estructurales de las partes celulares de los vegetales, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas, también se incluyen entre estos compuestos la lignina que, aun cuando no es un hidrato de carbono sino más bien una cadena de compuestos fenólicos como la vainillina, el aldehído siríngico y los alcoholes coniferílico, sinapílico y cumarílico, siempre se encuentra asociada a ellos y es un compuesto que no se encuentre de manera natural en los alimentos de origen animal, ya que son exclusivos de los vegetales (Badui, 2006).



La celulosa es el componente principal de las fibras naturales y la unidad elemental de una macromolécula de una celulosa es la anhidro-D-glucosa, la cual contiene tres grupos hidroxilo (-OH). Estos grupos hidroxilo forman enlaces de hidrogeno dentro de la macromolécula misma (intramolecular) y entre otras macromoléculas de celulosa (intermolecular).

La hemicelulosa es un polisacárido compuesto de una combinación de anillos de 5 y 6 carbonos de azúcares. Las cadenas del polímero son mucho más cortas (DP alrededor de 50 a 300) y ramificadas, conteniendo grupos salientes dando origen a su naturaleza no cristalina. La hemicelulosa es muy hidrofílica y soluble en álcalis y fácilmente se hidroliza en ácidos (Mohanty y *col.*, 2005).

La lignina es el compuesto que da rigidez a las plantas. Se cree que es un copolímero complejo tridimensional constituido por compuestos aromáticos y alifáticos con un peso molecular elevado. Su química no se ha establecido de manera precisa, sin embargo, la mayoría de sus grupos funcionales y unidades de estructura de la macromolécula ya se han identificado. Se caracteriza por un contenido alto de carbonos pero de un bajo contenido de hidrógeno. Se han identificado grupos hidroxilo, metoxilo y carbonilo. La lignina es amorfa e hidrofóbica por naturaleza (Mohanty A. y *col.*, 2005).

Las fibras vegetales son paquetes densos de pared celular alargadas en plantas muertas. Una fibra vegetal básicamente es una célula sola generalmente de una longitud de 1 a 50 mm y un diámetro de alrededor de 10 – 50  $\mu\text{m}$ . Las fibras vegetales son como tubos microscópicos (Figura 13) es decir las paredes celulares se encuentran rodeando el lumen central. Las fibras abarcan diferentes microestructuras jerárquicas (Figura 13). La pared celular en una fibra no es una membrana homogénea. Se compone de varias capas: la primera pared celular es la que se deposita durante el crecimiento de la célula y la segunda pared celular (S), consiste de tres capas (S1, S2 y S3). Las paredes celulares se forman a partir de microfibrillas de celulosa semicristalina que dan soporte incrustadas en una matriz de hemicelulosa/lignina de composición variable. Tales microfibrillas

generalmente tienen un diámetro de alrededor de 10-30 nm y están conformadas de 30 a 100 moléculas de celulosa en una cadena extendida. La fase de la matriz amorfa en una pared celular es muy compleja y consiste de hemicelulosa, lignina y en algunos casos de pectina. Las moléculas de hemicelulosa están unidas a la celulosa por los hidrógenos que forman la matriz entre las microfibrillas de celulosa originando una red (Mohanty y *col.*, 2005).

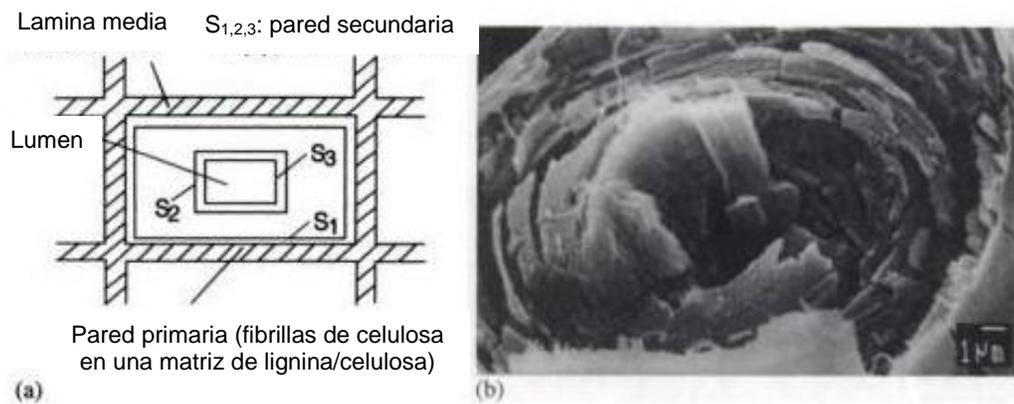


Figura 13. Estructura celular de una fibra vegetal. (a) Estructura esquemática, (b) Microscopia de sección cruzada (Mohanty y *col.*, 2005).

### 2.3.2 Fuente de fibra

La composición de dichas fibras es muy variada en los distintos alimentos, y depende de muchos factores, entre los que destaca la madurez del producto (Cuadro 7) (Badui, 2006).

Las fibras dietarias obtenidas de diferentes métodos y fuentes pueden variar en su composición química y propiedades fisicoquímicas, que subsecuentemente afectan sus usos como ingredientes en las aplicaciones dentro de la industria alimentaria. Ambas características físicas y químicas de las fibras son claves importantes para obtener ciertas respuestas fisiológicas (Chau y Huang, 2003).

Cuadro 7. Relación de carbohidratos totales y fibra cruda de la porción comestible de algunos alimentos (base húmeda).

	<b>Totales (%)</b>	<b>Fibra cruda (%)</b>	<b>Fibra cruda del total de carbohidratos (%)</b>
Ajo	30.6	1.5	4.9
Arroz	77.4	1.0	1.3
Avena	68.3	1.5	2.2
Maíz	76.7	0.8	1.0
Manzana	14.6	1.0	6.8
Trigo	71.2	2.4	3.4
Zanahoria	9.7	1.0	10.3

Fuente: Badui, 2006.

### **2.3.3 Valor nutritivo**

La función principal de la fibra es que tiene la capacidad de hincharse al absorber agua y, por lo tanto, de aumentar el volumen de la materia fecal; esto provoca un incremento en los movimientos peristálticos del intestino y facilita el tránsito, la distensión intestinal y, consecuentemente, la defecación; es decir, su acción primaria se lleva a cabo precisamente en el colon del ser humano (Badui, 2006).

Esta situación provoca que se incremente la viscosidad, se reduzca el tiempo de residencia de los constituyentes del alimento en el intestino, y que sólo las moléculas fácilmente absorbibles atraviesen la pared intestinal; aquellas sustancias irritantes, dañinas y tóxicas, que generalmente requieren más tiempo para entrar al sistema linfático, no tienen oportunidad de hacerlo y se eliminan en las heces. Para un mejor aprovechamiento de estas bondades, el consumo de la fibra debe ir acompañado de una ingestión adecuada de agua, a fin de favorecer la producción de las heces (Badui, 2006).

Con base en las investigaciones sobre la fibra dietaria como polisacáridos de la pared celular de las plantas, hace dos décadas fueron reconocidos los beneficios relacionados con las funciones normales gastrointestinales y fisiológicas. La importancia de la fibra dietaria ha tenido ventajas en el desarrollo de un amplio y marcado potencial para los productos ricos en fibra e ingredientes. En años recientes, existe una fuerte tendencia para encontrar nuevas fuentes de fibra dietaria como ingredientes en la industria alimentaria (Chau y Huang, 2003).

### III. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la encuesta nacional de salud y nutrición más reciente (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, 2006), en México el 4% de la población total de niños con edades entre 0 a 5 años tienen sobrepeso, mientras que en 19.5% de la población total de niños en edad escolar predominó la combinación de sobrepeso y obesidad. Estos resultados muestran la urgente necesidad de aplicar medidas para prevenir el sobre peso entre otras alteraciones alimentarias en esos sectores de la población.

Con base en esos datos se propone el consumo de productos bajos en calorías pero de calidad nutricional, con el propósito de impulsar el desarrollo de procesos encaminados a mejorar los alimentos industrializados, dirigidos a los distintos sectores de la población pero con mayor énfasis hacia los infantes. El presente trabajo busca contribuir al desarrollo de alimentos balanceados, por medio de la sustitución del almidón por harinas que contienen nutrimentos importantes tales como proteínas, vitaminas, minerales y fibra o por fibras con menor aporte calórico, sin cambios notables en los atributos sensoriales y nutricionales de los alimentos procesados y que satisfagan además, la tendencia actual de preparación de alimentos balanceados para cubrir una necesidad de los consumidores.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4. Objetivo general**

Evaluación de la sustitución del almidón originalmente utilizado en formulaciones de alimentos infantiles procesados sobre la viscosidad de los productos, mediante la adición de diferentes ingredientes individuales y sus mezclas, entre los que se incluyen almidones modificados, harinas de arroz y fibra cítrica, buscando reducir el aporte calórico.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1 Caracterizar fisicoquímicamente los ingredientes individuales propuestos para sustitución en formulaciones: análisis proximal, índice de solubilidad en agua e índice de absorción en agua, perfil de viscosidad (RVA), digestibilidad de proteína in vitro.
- 4.2.2 Estudiar el efecto de las mezclas de ingredientes sobre el perfil de cocción (RVA), de acuerdo al diseño de experimentos para las formulaciones de alta acidez (pera y manzana) y baja acidez (vegetales).
- 4.2.3 Seleccionar las mezclas que exhiban los perfiles de viscosidad similares al ingrediente control o mezcla control de cada formulación.
- 4.2.4 Preparar los alimentos prototipo utilizando las mezclas seleccionadas.
- 4.2.5 Caracterizar los alimentos infantiles preparados de acuerdo a las formulaciones en cuanto a consistencia, color y presencia de sinéresis durante un período de 90 días a temperatura ambiente y a 35 C.

## V. METODOLOGÍA

### 5.1 Análisis proximal de ingredientes individuales

Con base en las metodologías de la AOAC (2002) y la AACC (2000) se caracterizaron muestras de almidón de maíz céreo, harina de arroz y una fibra cítrica (Cuadro 8).

Cuadro 8. Generalidades de los ingredientes individuales caracterizados.

<b>Ingrediente</b>	<b>Modificación</b>	<b>Costo/ Kg de ingrediente</b>
Almidón de maíz (AG)	Almidón de maíz de la variedad céreo, químicamente acetilado con anhídrido acético y entrecruzado para obtener di-adipato de almidón.	\$ 10.89
Almidón de maíz (AC)	Almidón de maíz de la variedad céreo, modificado químicamente para obtener di-fosfato de almidón.	\$ 10.29
Almidón de maíz (AF)	Almidón de maíz de la variedad céreo, modificado físicamente. El proveedor no especifica el tipo de modificación.	\$ 25.64
Harina de arroz nativa (HMG)	Harina de la variedad de grano medio. Sin modificaciones	\$ 12.46
Harina de arroz (HFM) <sup>1</sup>	El proveedor no especifica el tipo de modificación ni de la variedad de grano.	\$ 92.68
Fibra (FC) <sup>1</sup>	Ninguna	\$ 61.56

<sup>1</sup> Varía su costo de acuerdo al tipo de cambio en dólares.

#### 5.1.1 Sólidos totales y humedad

Los sólidos totales y el contenido de humedad se determinaron por medio de una termobalanza OHAUS modelo MB45. Se pesaron  $2 \pm 0.2$  g de cada muestra y se cuantificó el porcentaje de humedad a 135 °C, por diferencia de pesos se obtuvo el contenido de sólidos totales.

### 5.1.2 Cenizas

Se utilizó el método de la AACC (2000). Se pesaron  $2 \pm 0.2$  g de muestra y se colocaron en un crisol previamente llevado a peso constante, se incineró la muestra en una mufla THERMOLYNE tipo F1300 a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 8 horas o hasta que el contenido del crisol mostró un color grisáceo (residuo). Posteriormente se enfrió dentro de un desecador y pesó a temperatura ambiente. El contenido de cenizas se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{peso del residuo}) \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

### 5.1.3 Fibra dietaría total

Se corrió un blanco en forma paralela con las muestras para medir cualquier contribución desde el reactivo al residuo. Se pesaron por duplicado  $1 - 0.1$  g de muestra dentro de vasos de precipitados largos de 400 ml. Se adicionaron 50 mL de buffer de fosfatos a cada vaso se y ajusto el pH  $6 \pm 0,2$ .

El almidón fue gelatinizado con 0.1 ml de solución de  $\alpha$ -amilasa, se cubrio el vaso con una hoja delgada de aluminio y se coloco en baño de ebullición ( $95 - 100^{\circ}\text{C}$ ) por 15 min con agitaron continua.

Para la hidrólisis de las proteínas, se enfriaron las soluciones a temperatura ambiente y se ajustó pH a  $7,5 \pm 0,2$  por adición de 10 ml de solución NaOH 0,275 N. Se adiciono 5 mg de proteasa en solución (50 mg/ml de buffer de fosfatos).

Para la hidrólisis del almidón se cubrió el vaso con una hoja delgada de aluminio e incubar 30 min a  $60^{\circ}\text{C}$  con agitación continua. Se enfrió y adicionaron 10 ml de la solución de HCl 0,325 M. se ajustó el pH a 4,0 - 4,6. se adicionaron 0.3 ml de amiloglucosidasa, se cubrió con una hoja delgada de aluminio e incubo 30 min a  $60^{\circ}\text{C}$  con agitación continua.

Se retiraron los vasos del baño de agua y se añadieron a cada uno de ellos 280 mL de etanol a 95% precalentado a 60°C (se midió el volumen antes del calentamiento), se dejó que se formara el precipitado a temperatura ambiente durante 60 min. Se filtró el residuo y lavó sucesivamente con 3 porciones de 20 ml de etanol al 78%, 2 porciones de 10 ml de etanol al 95% y 2 porciones de 10 ml de acetona. Se secó el precipitado toda una noche en una estufa (Riossa, Modelo: IICT – 48) a  $102 \pm 2$  °C. Los residuos se enfriaron en el desecador y pesaron con una aproximación de 0,1.mg. Se incineró el residuo durante 5 h a 525 °C. Se enfrió en el desecador y pesó y se determinó cenizas. La fibra se determinó usando las siguientes ecuaciones:

Determinación del blanco

$$B = \text{peso residuo} - PB - AB$$

donde :

B = blanco mg

peso del residuo = promedio de los pesos de residuos (mg) para las determinaciones del blanco duplicado

PB = peso (mg) de proteína

AB = peso (mg) de cenizas

Calcular la fibra dietética total (TDF) como sigue:

$$\% \text{ de TDF} = [\text{peso del residuo} - P - A - B / \text{peso de la muestra}] \times 100$$

donde:

peso del residuo = promedio de los pesos (mg) para el duplicado de muestras determinadas.

P = pesos (mg) de proteína

A= pesos (mg) de ceniza

peso de la muestra = promedio de peso (mg) de las 2 muestras tomadas

#### 5.1.4 Grasa

La grasa se determinó por el método de Mojonnier descrito por la AOAC (2002). Para la preparación de la muestra, se pesaron  $2 \pm 0.2$  g de muestra en un frasco de Mojonnier, se adicionaron 10 mL de disolución de HCl 25:11, se mezcló hasta disolver la muestra por completo.

Se colocaron los frascos de Mojonnier en un baño de agua a 70–80 °C durante 30 min, agitando cada 5 min, y transcurrido ese tiempo se enfriaron bajo un chorro de agua.

En la extracción se adicionaron 25 mL de éter etílico, se agitó durante 1 min, después se agregaron 25 mL de éter de petróleo y nuevamente se agitó durante 1 min, se dejó reposar la muestra hasta la separación fases, y se decantó el éter en una charola previamente pesada. En la segunda extracción se adicionaron 20 mL de éter etílico y 20 mL de éter de petróleo y en la tercera y última extracción sólo se adicionaron 15 mL de cada disolvente. Para las dos extracciones se decantó la fase de disolución de los disolventes y se recolectó en la charola. Posteriormente se dejó a evaporación el contenido de la charola y se pesó nuevamente. El contenido de grasa se reportó como el porcentaje en masa de los lípidos extraídos usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(\text{peso de la charola} + \text{grasa}) - (\text{peso de la charola vacía})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

#### 5.1.5 Proteína

Se determinó por medio del método microKjeldahl (AOAC, 2002), se pesó  $1 \pm 0.2$  g de cada muestra, se adicionó 0.5 g de mezcla reactiva de selenio y 25 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado para su digestión hasta que las muestras eran incoloras, después se titularon con una disolución de 0.1 N de HCl. La

determinación se realizó por triplicado. El contenido de proteína se cálculo por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL HCl} - \text{mL blanco}) \times N \times P_{\text{eq.N}} \times 100}{\text{Peso de la muestra (mg)}}$$

donde:

mL HCl: volumen (mL) gastado en la determinación

mL blanco: volumen (mL) gastado en el blanco

N: Normalidad de la disolución de HCl (0.1 N)

$P_{\text{eq.N}}$ : Peso equivalente del nitrógeno (0.014)

$$\% \text{ Proteína} = (\% \text{ Nitrógeno}) (\text{Factor})$$

El factor utilizado para las muestras de harina de arroz fue de 5.95 y para el resto fue de 6.25.

## 5.2 Índice de adsorción de agua (IAA)

El IAA fue determinado de acuerdo con la metodología descrita por Anderson y col. (1969). Se pesaron 2.5 g (base seca) de cada muestra, se colocaron en un tubo de polipropileno de 50 mL previamente llevado a peso constante, se adicionó 30 mL de agua destilada a la misma temperatura que el baño de agua a 30 °C y se agitó vigorosamente (Baño de agitación reciproca, modelo: BIA). Los tubos se colocaron en un baño con agitación continua a temperatura constante durante 30 min. Posteriormente, se centrifugó a 6000 rpm durante 10 minutos, se separó el sobrenadante, y se determinó el peso del residuo sólido. Se evaporó el agua en una estufa a una temperatura de 105 °C durante dos horas, y se pesó el residuo de la evaporación.

El índice de absorción de agua (IAA), se expresó como la relación entre el peso del residuo después de la centrifugación y el peso seco de la muestra, al cual se le restó el peso del residuo de la evaporación del sobrenadante:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Pesodelresiduo de centrifugación}}{\text{Pesode la muestra} - \text{Pesodelresiduode evaporación}}$$

### 5.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)

El índice de solubilidad en agua (ISA) también fue determinado con la metodología de Ardenson y col. (1969) y se expresó como la relación entre el residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra. Se realizó por triplicado la determinación para cada muestra y se calculó de la siguiente forma:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso del residuo evaporado}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

### 5.4 Digestión de proteína *in vitro*

El método utilizado fue un sistema multi-enzimático descrito por Hsu y col. (1977).

Se utilizaron 50 mL de suspensión acuosa conteniendo 1.6 g de muestra, se ajustó el pH a 8.0 con 0.1 N HCl y NaOH y se mantuvo a 37 °C en un baño de agua. La disolución multi-enzimática (1.6 mg de tripsina y 2.2 mg de quimiotripsina) se mantuvo en un baño frío y se ajustó el pH a 8.0 con 0.1 N HCl y NaOH. Se agregaron 5 mL de la disolución multi-enzimática a la suspensión de la muestra y se mantuvieron a 37 °C, se registró el cambio en el pH a los 10 minutos.

La relación disminución de pH con el tiempo se correlacionó con la digestibilidad de las muestras de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Digestibilidad} = 210.46 - 18.1x$$

donde:

x = cambio del pH a los 10 min.

Se digirió una muestra de caseína, el porcentaje de digestibilidad fue 88.1 % y se correlacionó con los datos obtenidos. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

## 5.5 Perfil de cocción (RVA)

Se obtuvo el perfil de cocción utilizando un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA) Serie 4 (Newport Scientific Sydney, Australia). La metodología empleada se basó en las especificaciones del método de la AACCC (2000).

Se preparó una suspensión con  $2.5 \pm 0.01$  g de muestra y se adicionó agua destilada hasta completar 28 g. Para el análisis de cocción se utilizó el método estándar 2. La muestra fue primero calentada a  $50^\circ\text{C}$  por 1 min, después a  $95^\circ\text{C}$  durante 5 min, (tasa de calentamiento de  $5.6^\circ\text{C}/\text{min}$ ), seguido de enfriamiento hasta  $50^\circ\text{C}$  (tasa de enfriamiento de  $5.6^\circ\text{C}/\text{min}$ ), con agitación de 160 rpm. El perfil de cocción para todas las muestras se realizó por duplicado y los resultados se reportaron en cP (centipoise).

A partir del perfil de cada muestra se obtuvieron las siguientes propiedades específicas: temperatura de formación de pasta (temperatura a la cual hay un incremento inicial de la viscosidad), pico de viscosidad (viscosidad máxima durante el ciclo de calentamiento), viscosidad mínima (pico de viscosidad mínimo durante el calentamiento a  $95^\circ\text{C}$ ), viscosidad final (viscosidad alcanzada al término del ciclo de enfriamiento).

A partir de estos parámetros se calculó la retrogradación mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Retrogradación} = V_{\text{final}} - V_{\text{Mín}}$$

donde:

$V_{\text{final}}$  = viscosidad final

$V_{\text{Mín}}$  = viscosidad mínima

## 5.6 Alimentos prototipo

Se trabajó con dos alimentos prototipo uno de alta acidez, con dos formulaciones manzana y pera, y otro alimento prototipo de baja acidez con una formulación de vegetales (Cuadro 9).

Cuadro 9. Formulación de los alimentos prototipo control.

Formulación	Ingredientes control (%)			Otros ingredientes <sup>1</sup> (%)
	AG	AC	HMG	
Pera	4			96
Manzana	4		1	95
Vegetales		1.6	4	94.4

<sup>1</sup> Por cuestiones de confidencialidad no se especifican los demás ingredientes y las proporciones.

### 5.6.1 Estrategia experimental

En la Figura 14 se muestra la estrategia experimental que se llevó a cabo en los alimentos prototipos.

### 5.6.2 Diseño de experimentos

En el alimento prototipo de alta acidez se realizaron dos diseños en la formulación para sustituir el almidón: para la formulación de pera se experimentó con un solo componente, para la formulación de manzana se experimentó con una mezcla de dos ingredientes; en la formulación de baja acidez, también se utilizó una mezcla de dos componentes.

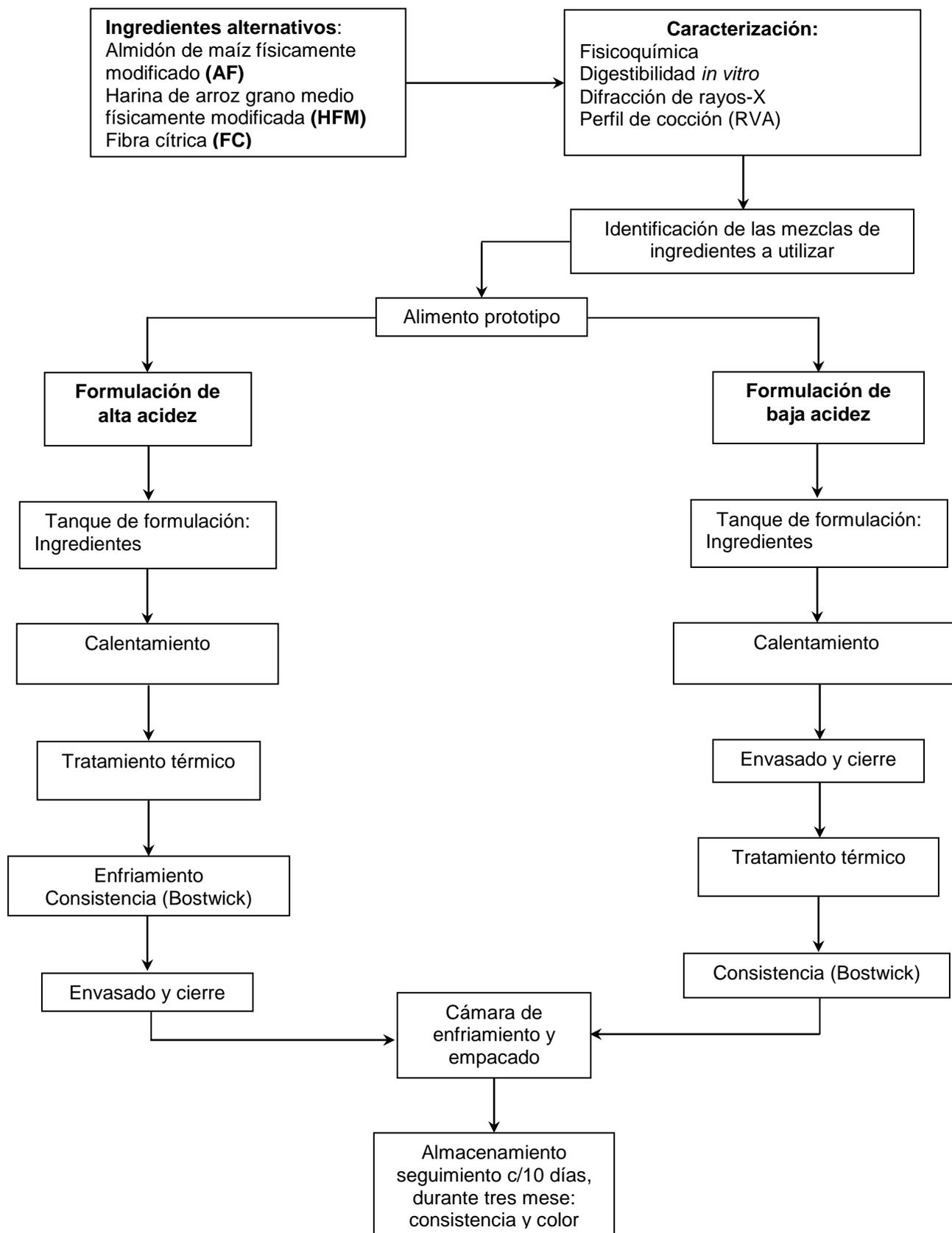


Figura 14. Estrategia experimental en la elaboración de los alimentos prototipo en las dos formulaciones alta y baja acidez.

### 5.6.2.1 Alimentos prototipo de alta acidez

En la formulación con pera, la muestra se preparó usando almidón de maíz céreo acetilado y entrecruzado (AG) como agente espesante y los datos obtenidos del RVA fueron comparados con los ingredientes que se usaron para reemplazar al AG en esta formulación (Cuadro 10).

Cuadro 10. Ingredientes usados en la formulación con pera.

<b>Agente espesante control</b>	<b>Agentes espesante usados para reemplazar al AG</b>				
AG	AC	AF	HMG	HFM	FC

En la formulación con manzana, se uso una mezcla de almidón de maíz céreo acetilado y entrecruzado (AG) con harina de arroz grano medio (HMG) para preparar la muestra control. Esta fue reemplazada por mezclas binarias formadas por un componente minoritario y un espesante. Se denominó componente minoritario al ingrediente presente en menor proporción y espesante al componente presente en mayor proporción en la mezcla. En todas las mezclas, incluyendo la de la muestra control, la proporción entre el componente minoritario y el espesante fue de 1 a 4, respectivamente (Cuadro 10). Los datos obtenidos en el RVA se compararon con el resto de las mezclas.

### 5.6.2.2 Alimento prototipo de baja acidez

En la formulación con vegetales se usó una mezcla de harina de arroz grano medio (HMG) con almidón de maíz céreo bifosfatado (AC) para preparar la muestra control. Esta mezcla se sustituyó por una mezcla de dos ingredientes (Cuadro 11). Los datos en el RVA se compararon con el resto de las mezclas.

Cuadro 11. Mezclas binarias usadas en la formulación con manzana.

Componente minoritario	Agente espesante			
	AC	AG	AF	HMG
<b>HMG</b>	AC/HMG	AG/HMG	AF/HMG	HMG/HMG
<b>HFM</b>	AC/HFM	AG/HFM	AF/HFM	HMG/HFM
<b>FC</b>	AC/FC	AG/FC	AF/FC	HMG/FC

Cuadro 12. Mezclas binarias usadas en la formulación con vegetales.

Componente minoritario	Agente espesante		
	HMG	HFM	FC
<b>AC</b>	HMG/AC	HFM/AC	FC/AC
<b>AG</b>	HMG/AG	HFM/AG	FC/AG
<b>AF</b>	HMG/AF	HFM/AF	FC/AF
<b>HMG</b>	HMG/HMG	HFM/HMG	FC/HMG

De acuerdo a este diseño se tomaron únicamente 2 mezclas alternativas para ser candidatas a sustituirse en los alimentos prototipo de cada formulación.

### 5.6.3 Vida de anaquel

Se prepararon alimentos prototipo considerando las tres formulaciones, dos de alta acidez y una de baja acidez. El número total de muestras fue de 18 (3 x 2 + 3 x 2 + 3 x 2), los cuales se sometieron a tres tratamientos de temperatura (medio ambiente, 35° y 50 °C); los criterios de calidad evaluados fueron: consistencia (Bostwick), color y presencia de fases (sinéresis).

#### 5.6.3.1 Color

El color se determinó utilizando un colorímetro portátil Miniscan Hunter Lab (XE Virginia EUA). El ingrediente (8.0 % ± 0.5 % de humedad) se colocó en una caja Petri de laboratorio, se compactó ligeramente hasta obtener una superficie completamente plana y se cubrió con una pieza de vidrio plano, transparente; se

midió el color de las superficies planas, simulando la luz del día y cuyo principio se basa en el registro de la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores: rojo, azul, amarillo y verde. Los parámetros medidos fueron  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

#### **5.6.3.2 Consistencia**

La consistencia (desplazamiento en cm) de los alimentos prototipos se midió con un consistómetro de Bostwick, se dejó correr 113 g de papilla durante 5 s y se registró la temperatura a la que se determinó la consistencia.

#### **5.6.3.2 Presencia de fases**

La presencia de sinéresis fue monitoreada visualmente en los alimentos prototipo a lo largo del período de almacenamiento.

## I. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como ya se ha mencionado en los antecedentes de este trabajo, el almidón nativo es un buen estabilizante de textura y un regulador en los sistemas alimenticios, pero presenta algunas limitaciones como baja resistencia al cizallamiento y al calor, así como una alta tendencia a la retrogradación lo cual limita su uso industrial en algunas aplicaciones. La modificación química del almidón, la cual involucra la alteración de las características físicas y químicas del almidón nativo que mejoran sus características funcionales, es deseable para producir un material con características específicas para determinadas aplicaciones. La modificación de almidón es generalmente llevada a cabo derivatizando el almidón por medio de eterificación o esterificación, por entrecruzamiento, degradación (hidrólisis u oxidación) o tratamiento físico de almidón usando calor y humedad, etc. La modificación química de almidón involucra la inserción de grupos funcionales en la molécula de almidón, los cuales cambian marcadamente las propiedades fisicoquímicas del almidón. Tal modificación del almidón nativo granular altera profundamente su comportamiento de gelatinización, formación de pasta y de retrogradación (Singh, 2007).

Por las razones anteriores, para fines de este estudio se utilizó almidón comercial de maíz céreo con diversas modificaciones, en particular dos almidones entrecruzados y un almidón físicamente modificado. De igual forma se utilizaron dos harinas de arroz modificadas química y físicamente. Estos ingredientes han sido propuestos para proporcionar estabilidad y características de viscosidad y consistencia a los alimentos infantiles procesados. Por otro lado se propuso también el uso de una fibra cítrica que pudiera proporcionar características similares a los otros ingredientes con la ventaja de aportar un valor energético más reducido al producto.

## 6.1 Caracterización de ingredientes individuales

### 6.1.1 Análisis proximal

La caracterización de los ingredientes muestra porcentajes de cada nutriente semejante entre los almidones y entre las harinas; las harinas presentaron mayor cantidad de proteína, grasa y cenizas, y ligeramente un menor contenido de carbohidratos (Cuadro 13). El análisis proximal indicó que el porcentaje promedio de proteína de los almidones AG, AC y AF fue de 0.26, 0.27 y 0.33 % respectivamente, para el caso de las harinas HMG, HFM y la FC fue de 7.03, 7.39 y 7.67 % respectivamente; no existió diferencia significativa entre las muestras de almidón, o entre las muestras de harinas y fibra cítrica. El contenido de grasa fue menor en los almidones AG=0.86, AC=0.9 y AF=0.97%, seguido por las harinas HMG=1.49, HFM=1.46%. La FC mostró un mayor porcentaje 3.56% en comparación con las demás ingredientes (Figura 15).

Rincon y col. (2007) reportaron resultados similares para el almidón acetilado: estos autores observaron que las modificaciones químicas o físicas aplicadas a los almidones no modificaron su composición, por tanto no se vio afectado su valor nutricional y aporte calórico.

El HMG no presentó cambios significativos en su composición en comparación con HFM a pesar de la modificación física, los valores obtenidos son semejantes a los reportados por Rached y col. (2006).

La FC mostró los valores más altos de grasa, proteína, fibra soluble insoluble, respecto a los demás ingredientes, mientras los valores del contenido de humedad y carbohidratos fueron los más bajos. El contenido de proteína de HFM y HMG (Figura 15) fue similar al de FC. Considerando el contenido de proteína y la disminución en el contenido energético de FC, este ingrediente podría considerarse como una opción viable para sustitución parcial del almidón.

El valor teórico calculado del aporte calórico de cada uno de los ingredientes individuales se muestra en el Cuadro 13.

La composición química del arroz de grano medio varía considerablemente dependiendo del ambiente en el que se cultiva, la composición de la tierra y la variedad (Zhou et al., 2002). El contenido de almidón, lípidos y proteína también pueden variar dependiendo del método de análisis.

Singh et al (1998) reportaron valores de proteína para arroz molido que van de 6.2 a 6.9%. Cameron et al (2008) compararon las propiedades físicas y químicas de cultivares de arroz grano medio cultivados en California y Arkansas y reportan valores de proteína entre 5.4 y 8.5% encontrando contenidos mayores de proteína en la variedad Arkansas, atribuido a la fertilización con nitrógeno (Pérez et al, 1996) o disponibilidad de nitrógeno en la tierra (Lambers, 1972). An y King (2006) reportaron la composición de almidón y harina de arroz. Ellos reportaron un contenido de proteína en harina entre 6.52 y 7.77%

El contenido de proteína en almidones de arroz depende del método de extracción (Singh et al, 2000), pero no debe exceder del 0.5% (Zhou et al., 2002). En este estudio los almidones tuvieron un contenido de proteína entre 0.27 y 0.34 % por lo que los porcentajes se encuentran dentro de lo reportado para almidones de arroz. An y King (2006) reportaron un contenido de proteína en almidón de 0.56%.

El porcentaje de grasa reportado para arroz integral por Zhou et al (2002) fue de 2.2%. An y King (2006) reportaron 0.01% de grasa en almidón de arroz y un 0.7% para harina de arroz mientras que un 3.3% para harina de arroz integral.

En cuanto al contenido de cenizas, An y King (2006) reportaron 0.31% para almidón y 0.6% para harina de arroz, valores muy similares a los encontrados en este trabajo.

Figuerola et al (2005) reportaron la composición de concentrados de fibra de manzana y cítricos tales como limón y naranja, encontrando valores de fibra soluble entre 4 y 14%, fibra insoluble entre 37 y 81% y fibra total entre 44 y 89%. En lo que se refiere a proteína, reportaron valores entre 3 y 8%, grasa entre 0.89 y 4.4% y cenizas entre 0.56 y 3.91%. Los valores de la fibra cítrica analizada se parecen más a la fibra extraída de naranja y limón del estudio de Figuerola et al (2005), sin embargo, se desconoce la fuente de la fibra cítrica empleada en este estudio. Por otra parte, desde el punto de vista de proteína, las harinas (HFM y HMG) destacan uniéndose a FC (Figura 15).

### **6.1.2 Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)**

Los índices de solubilidad de agua y absorción de agua de los ingredientes se muestran en el Cuadro 13. En general los valores para almidones modificados y harinas fueron menores a 3%. El valor más alto registrado de ambos índices fue el de fibra cítrica (más de 9%) lo cual es lógico debido a la fracción de fibra soluble que representa un alto porcentaje (33%) del ingrediente.

Las propiedades fisicoquímicas de almidones tales como hinchamiento del gránulo, solubilidad y transmitancia de luz son afectadas significativamente por las modificaciones químicas. El cambio en estas propiedades depende del tipo de modificación y el grado de sustitución. Las modificaciones químicas por acetilación incrementan la solubilidad y el poder de hinchamiento del gránulo de diversas fuente de almidón, mientras que se ha observado que el entrecruzamiento (depende del tipo de entrecruzamiento y el agente y grado de entrecruzamiento) disminuye estos parámetros (Singh, 2007). Se conoce el tipo de modificación llevada a cabo en los almidones modificados usados en este estudio, aunque se desconocen las condiciones o pormenores de las modificaciones. El almidón físicamente modificado de este estudio (AF) presentó el menor valor de ISA (1.6%), mientras que el almidón acetilado y entrecruzado presentó el mayor valor (2.76). Ha sido documentado que la desintegración del gránulo de almidón

durante la acetilación probablemente debilite a éste posibilitando la lixiviación de los constituyentes.

Los valores de IAA fueron similares en los ingredientes de almidón y harina de arroz. Aunado a las propiedades de viscosidad de los ingredientes, los valores de IAA pudieron influir en una mayor retención de agua en los alimentos prototipo evitando la presencia de sinéresis.

## **6.2 Valor energético**

En el Cuadro 13 se muestran los valores energéticos de los ingredientes calculados teóricamente. No se observó diferencia significativa entre las muestras de almidón y harinas de arroz. La fibra cítrica fue el único ingrediente que presentó una diferencia significativa con los otros ingredientes. El aporte calórico de los ingredientes no fue tomado como un criterio de discriminación para la selección de ingredientes debido a la similitud de los valores calculados.

Cuadro 13. Composición<sup>1</sup> proximal de muestras de almidón de maíz céreo, harina de arroz y fibra cítrica.

Ingrediente individual	Sólidos Totales	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Fibra Soluble <sup>2</sup>	Fibra Insoluble <sup>2</sup>	Carbohidratos <sup>3</sup>	Aporte calórico (kcal/100) <sup>4</sup>	IAA	ISA
AG	88.02	12.07	0.31	0.94	0.27	0.00	0.00	86.50	355.51	2.36	2.76
AC	0.24	0.35	0.00	0.29	0.01	0.00	0.00	0.08	2.41	0.03	0.17
AF	87.86	12.14	0.40	0.98	0.27	0.00	0.00	86.21	354.70	2.40	1.61
	0.14	0.14	0.02	0.27	0.02	0.00	0.00	0.39	1.08	0.04	0.30
	88.85	11.15	0.13	0.98	0.34	0.00	0.00	87.40	359.76	2.37	1.22
	0.16	0.16	0.01	0.13	0.09	0.00	0.00	0.10	1.25	0.02	0.25
HMG	89.58	10.42	0.51	1.49	7.09	0.00	0.00	80.49	363.75	2.61	2.10
	0.06	0.06	0.01	0.10	0.14	0.00	0.00	0.15	0.39	0.04	0.18
HFM	89.55	10.45	0.62	1.53	7.39	0.00	0.00	80.01	363.34	2.43	2.11
	0.20	0.20	0.01	0.33	0.02	0.00	0.00	0.14	2.44	0.16	0.07
FC	93.76	6.24	2.77	3.56	7.67	33.00	37.90	8.88	98.17	9.23	9.07
	0.11	0.11	0.02	0.20	0.07	0.00	0.00	0.16	1.43	0.08	0.85

Valor promedio de n=3 repeticiones (arriba) y desviación estándar (abajo del valor).

<sup>1</sup>Expresado en porcentaje.

<sup>2</sup>El valor 0 indica que no fue detectado por la metodología utilizada.

<sup>3</sup>El porcentaje de carbohidratos fue calculado por diferencia (%HC=%ST - %proteína - %grasa - %fibra).

<sup>4</sup>Valor calculado en 100 g de muestra (% proteinax4 + %grasax9 + %carbohidratossx4).

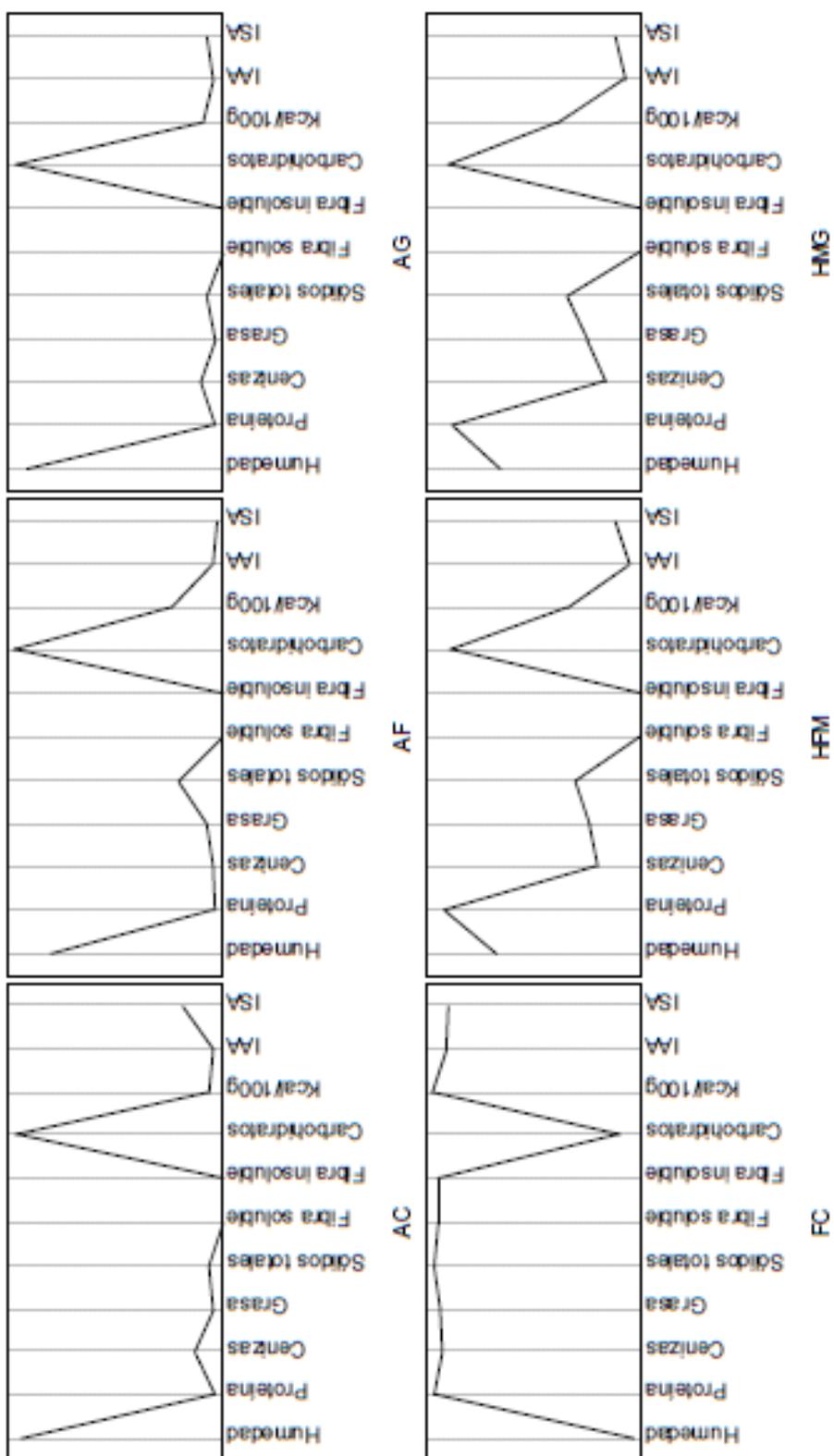


Figura 15. Perfil proximal de los ingredientes individuales.

### 6.3 Digestibilidad de proteína *in vitro*

Se observó que AF (almidón físicamente modificado) mostró menor porcentaje de digestibilidad en comparación con el control (AG), la mezcla AF/HFM presentó menor porcentaje de digestibilidad en comparación con AG/HMG en la formulación de manzana y para la formulación de vegetales la mezcla que presentó menor porcentaje de digestibilidad fue HMG/HFM.

Cuadro 13. Digestibilidad *in vitro* de ingredientes individuales y de mezclas binarias.

Formulación	Ingredientes	Digestibilidad <sup>1</sup> (%)
Pera	AG*	74.40
	AF	68.10
	HFM/HMG	75.98
Manzana	AG/HMG*	73.91
	AF/HFM	73.48
	AF/FC	81.54
Vegetales	HMG/AC*	78.43
	HMG/AF	80.08
	HMG/HFM	75.98

<sup>1</sup> Valor promedio de n = 3 repeticiones

\* Muestras control

### 6.4 Perfiles de cocción (RVA)

Las propiedades reológicas de un material reflejan su estructura. Durante la gelatinización, los gránulos de almidón se hinchan varias veces su volumen inicial. El hinchamiento es acompañado de lixiviación de los constituyentes del gránulo, predominantemente amilosa y la formación de una red tridimensional (Singh, 2007).

Las modificaciones químicas producen un considerable cambio en las propiedades reológicas y de formación de pasta de los almidones. La viscosidad de pasta del almidón puede ser incrementada o reducida aplicando la modificación química indicada. Nuevamente, el método de modificación, las condiciones de reacción y la fuente de almidón son factores críticos que gobiernan el

comportamiento reológico y de formación de pasa de los almidones (González y Pérez, 2002; Singh, 2007).

Las propiedades de viscosidad y formación de pasta de los ingredientes propuestos para el presente estudio son de suma importancia para obtener un producto de características adecuadas para el usuario, por lo que se obtuvieron los perfiles de viscosidad de los ingredientes individuales y de las mezclas alternativas para sustituir en los alimentos prototipo de cada formulación.

#### **6.4.1 Ingredientes para formulación de alimento prototipo de alta acidez con pera**

Los almidones mostraron perfiles de viscosidad semejantes teniendo los valores más altos de  $V_{m\acute{a}x}$  los almidones ( $AG > AC > AF$ ), seguido por las harinas ( $HMG > HFM$ ) y finalmente FC no mostró un perfil característico (Figura 16), observándose un incremento en su viscosidad muy pronunciado después del enfriamiento (Figura 16).

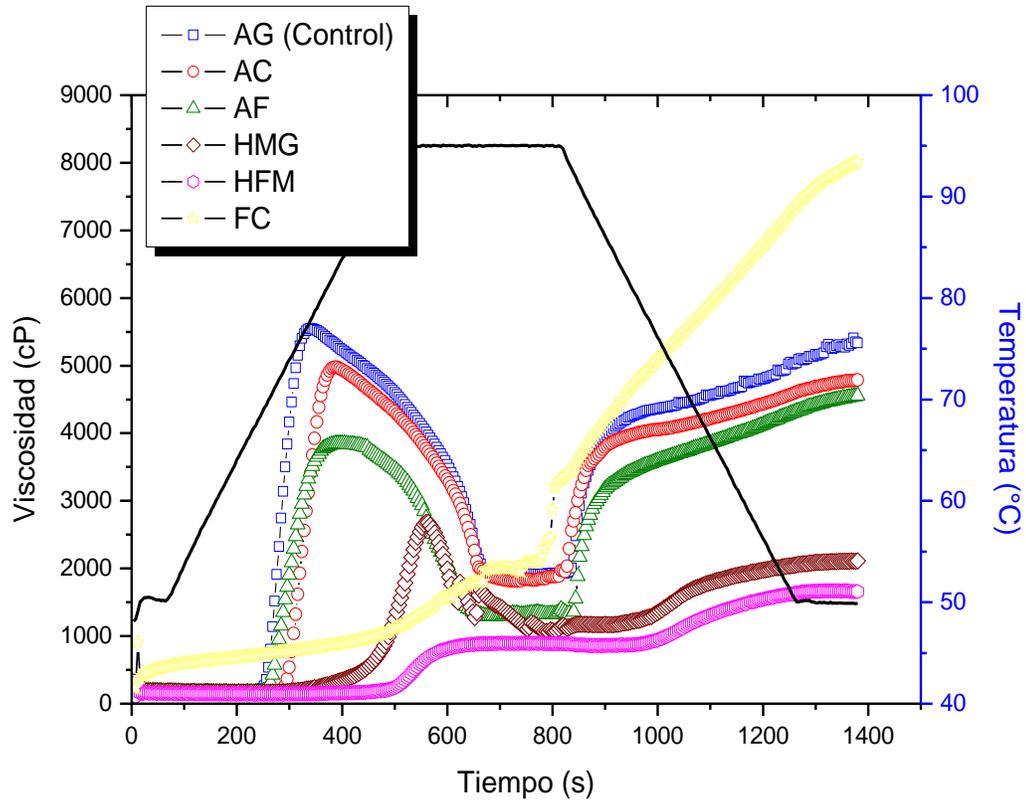


Figura 15. Perfil de cocción (RVA) de ingredientes individuales: almidones modificados, harinas de arroz y fibra cítrica.

Cuadro 14. Propiedades de las pastas de los ingredientes individuales.

<b>Ingrediente individual</b>	<b>V<sub>máx</sub><sup>1*</sup></b>	<b>V<sub>mín</sub><sup>1*</sup></b>	<b>V<sub>final</sub><sup>1*</sup></b>	<b>Retrogradación<sup>1*</sup></b>
AG (Control)	5549	1875	5337	3462
AC	4977	1830	4785	2955
AF	3845	1297	4553	3256
HMG	2683	1064	2113	1049
HFM	897	860	1659	799
FC	1805	1948	8015	6067

<sup>1</sup> Valor promedio de n = 2 repeticiones

\* Unidades expresadas en centipoises (cP).

De acuerdo a los perfiles de viscosidad mostrados en la Figura 16 y Cuadro 15, las muestras que mostraron un perfil más similar con el control AG fueron AC seguida de AF. Los demás materiales mostraron perfiles de viscosidad muy diferentes al control AG. Solamente se seleccionó a AF para incluirse en la formulación del alimento prototipo de pera, además de una mezcla de HFM/HMG, no incluida en el diseño de experimentos. Aunque AC mostró un perfil similar al control no fue considerado para la formulación del alimento prototipo de pera por cuestiones de costo.

#### **6.4.2 Ingredientes para formulación de alimento prototipo de alta acidez con manzana**

En las Figuras 17 a 20 se muestran los perfiles de viscosidad de los diferentes ingredientes del diseño de experimentos para la formulación del alimento prototipo de manzana. Puede apreciarse que aquellas que incluyen AF no muestran un perfil de viscosidad cercano a la mezcla control AG/HMG. Por otro lado, las mezclas AG/FC y AC/FC muestran viscosidades máximas superiores al control AG/HMG, aunque con valores de retrogradación un poco mayores. Finalmente las mezclas AC/HMG, AG/HFM, AC/HFM y AF/FC muestran perfiles cercanos al control pero con viscosidades máximas menores y valores de retrogradación comparables con el control AG/HMG.

Para la elaboración del alimento prototipo de manzana fueron consideradas la mezcla AF/FC por su cercanía con el perfil control AG/HMG y la mezcla de AF/HFM que aunque no mostró una viscosidad máxima comparable con la mezcla control, mostró valores de viscosidad final y de retrogradación similares además de representar una alternativa de menor costo.

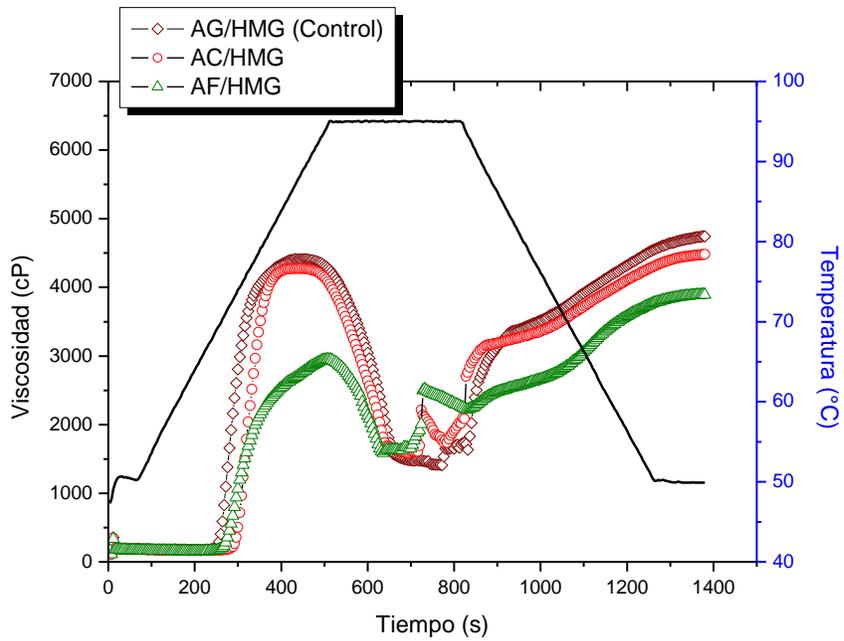


Figura 16. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de almidón y HMG para la formulación del alimento prototipo con manzana.

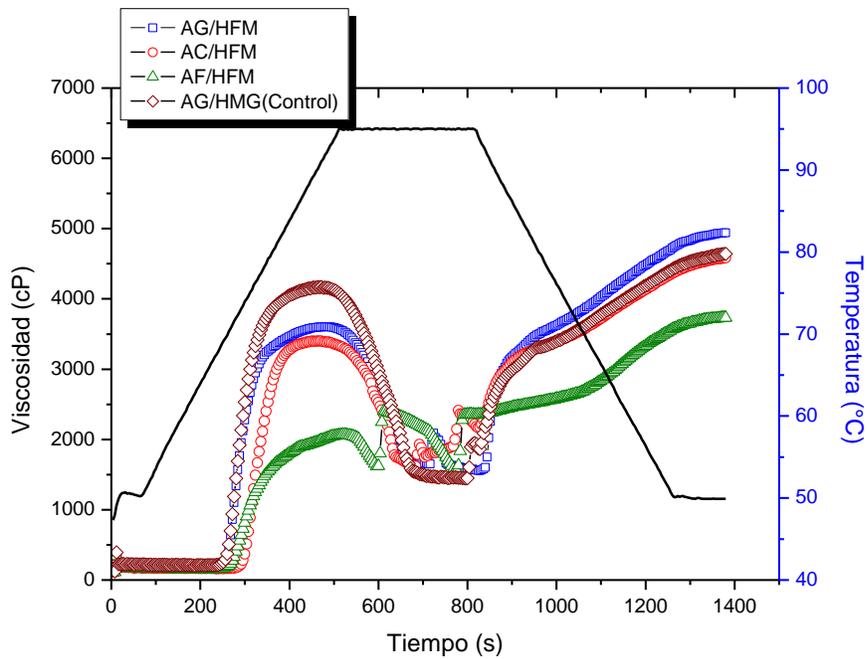


Figura 17. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de almidón y HFM para la formulación del alimento prototipo con manzana.

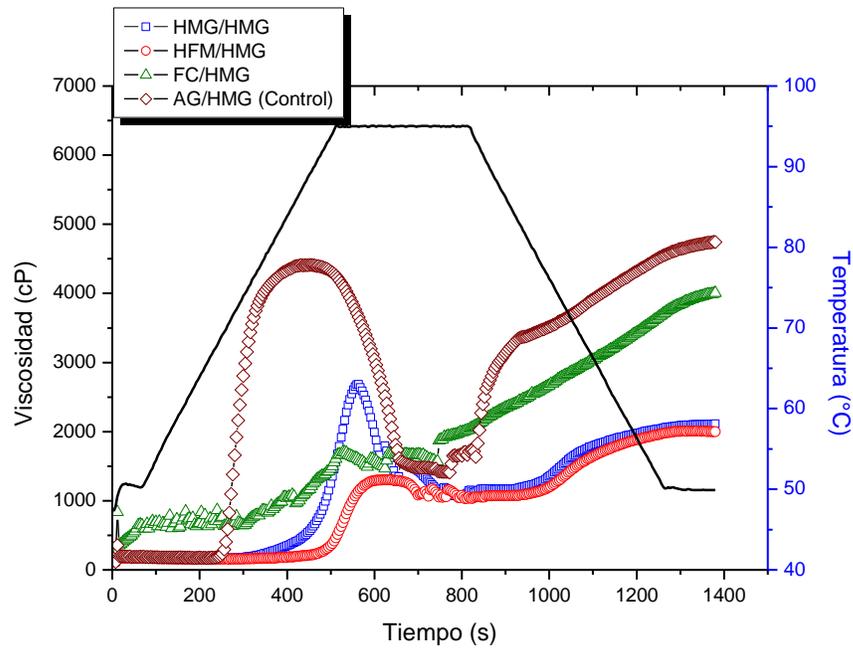


Figura 18. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HFM o FC y HMG para la formulación del alimento prototipo con manzana.

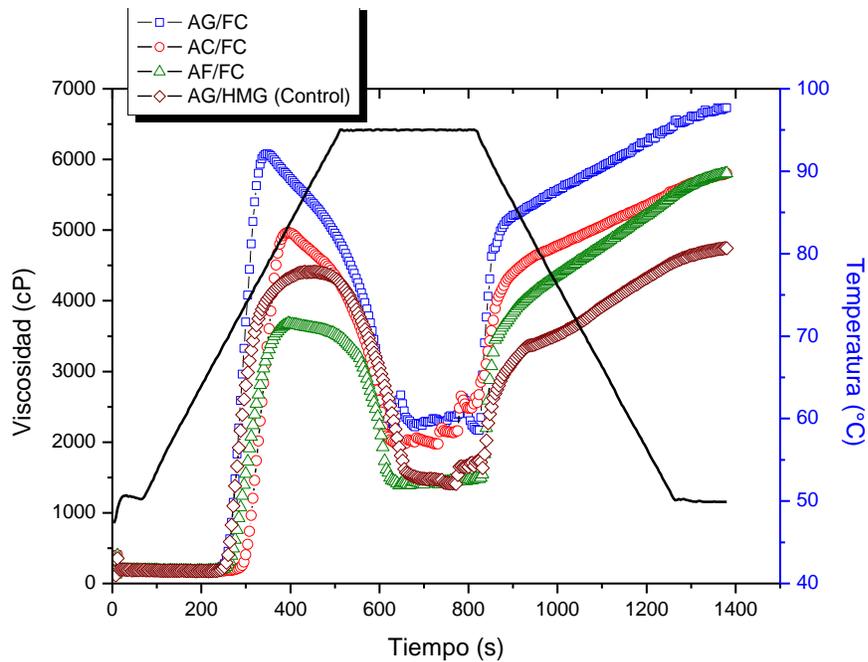


Figura 19. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de almidón y FC para la formulación de alimento prototipo con manzana.

Cuadro 15. Propiedades de las pastas en mezclas binarias de almidón, harina del arroz y fibra cítrica para la formulación de alimento prototipo con manzana.

<b>Mezcla</b>	<b>V<sub>máx</sub></b>	<b>V<sub>mín</sub></b>	<b>V<sub>final</sub></b>	<b>Retrogradación</b>
AG/HMG (Control)	4413	1408	4744	3336
AC/ HMG	4276	1586	4480	2894
AF/ HMG	2952	1631	3890	5521
AG/HFM	3606	1614	4941	3310
AC/ HFM	3398	1617	4582	2965
AF/ HFM	2070	1551	3733	2182
AG/FC	6077	2212	6731	4519
AC/ FC	4968	1960	5805	3845
AF/ FC	3684	1390	5804	4414
HMG/HMG	2683	1064	2113	1049
HFM/HMG	1302	1072	1998	926
FC/ HMG	1703	1555	4007	2452

<sup>1</sup> Valor promedio de n = 2 repeticiones

\* Unidades expresadas en centipoises (cP).

#### **6.4.3 Ingredientes para formulación de alimento prototipo de baja acidez con vegetales.**

En las Figuras 21 a 24 y en el Cuadro 17, se muestran los perfiles de viscosidad de los diferentes ingredientes del diseño de experimentos para la formulación del alimento prototipo con vegetales. Comparando con el control HMG/AC, los ingredientes individuales o mezclas que presentaron perfiles similares fueron HMG/AG, HMG, AF, HMG/HMG y HMG/FC. Las mezclas seleccionadas para la preparación del alimento prototipo de vegetales fueron HMG/AF y HMG/HFM, además del control.

La selección de los ingredientes y/o sus mezclas para la preparación de los alimentos prototipo con pera, manzana y vegetales se basó principalmente en la similitud de los perfiles de viscosidad con los ingredientes o mezclas control respectivas en cada formulación, debido a que el aporte calórico calculado para los ingredientes de almidón y harinas no mostró diferencia significativa entre las muestras, a excepción de la fibra cítrica que mostró un valor considerablemente menor.

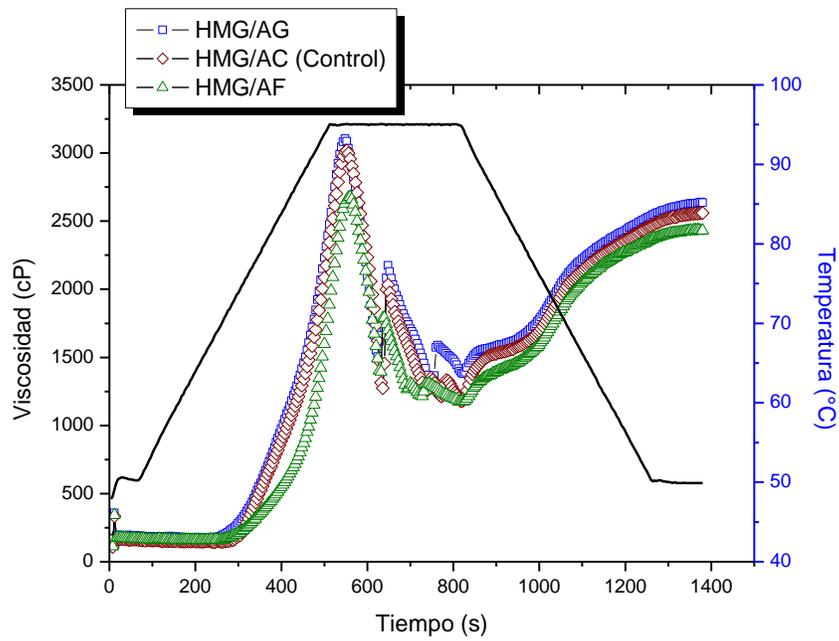


Figura 20. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HMG y almidón para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

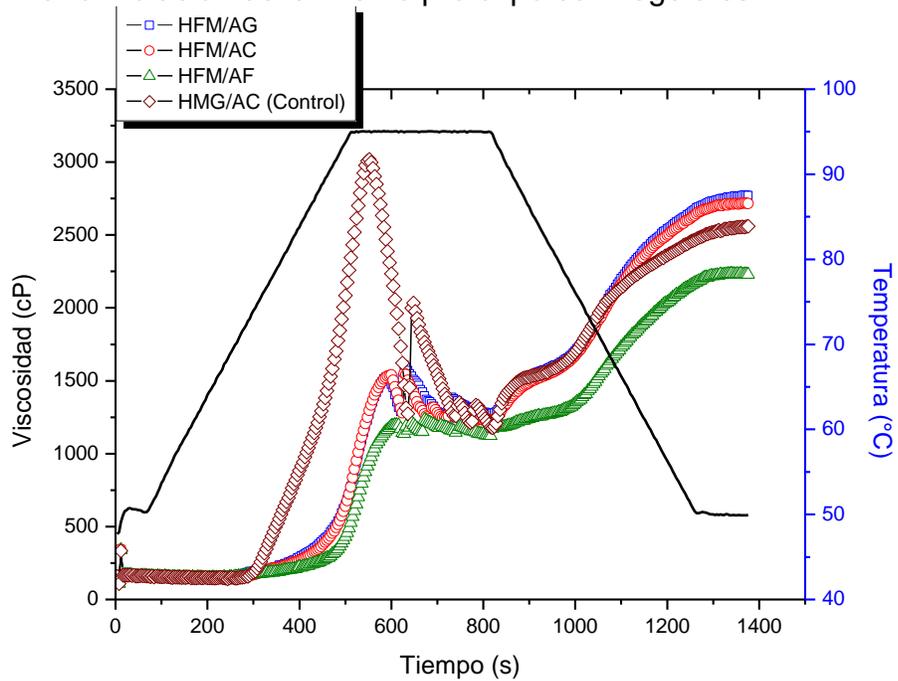


Figura 21. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HFM y almidón para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

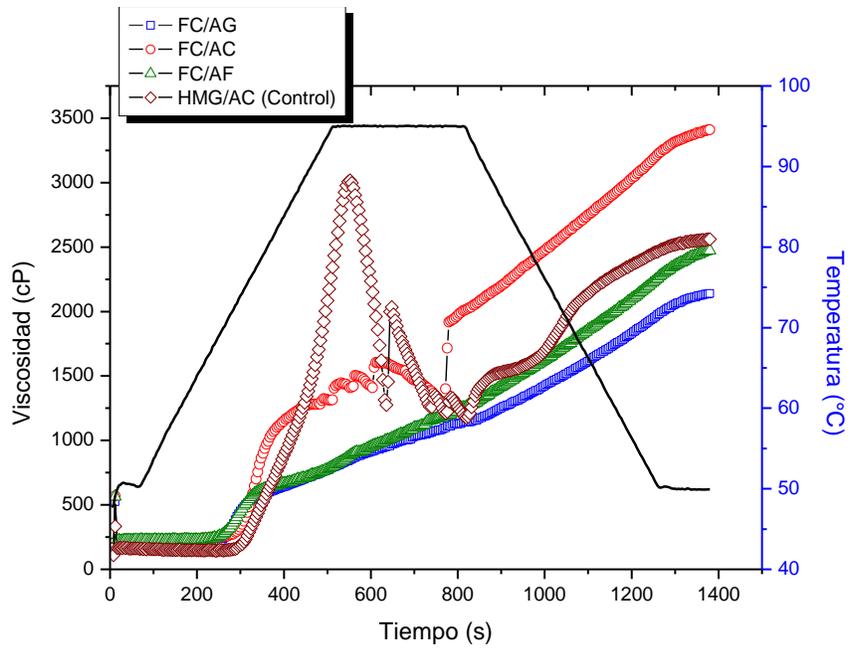


Figura 22. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de FC y almidón para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

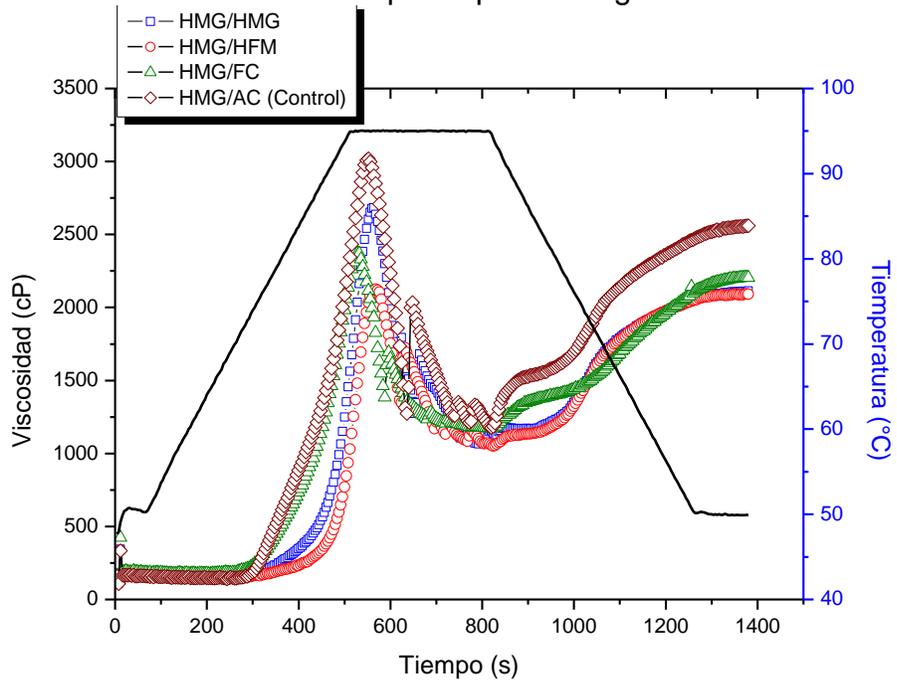


Figura 23. Perfil de cocción (RVA) de mezclas binarias de HMG y HFM o FC para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

Cuadro 16. Propiedades de las pastas en mezclas binarias de almidón, harina de arroz y fibra cítrica para la formulación del alimento prototipo con vegetales.

<b>Mezcla</b>	<b>V<sub>máx</sub></b>	<b>V<sub>mín</sub></b>	<b>V<sub>final</sub></b>	<b>Retrogradación</b>
HMG/AG	3104	1380	2635	1255
HMG/AC (Control)	3018	1177	2561	1384
HMG/AF	2676	1176	2430	1254
HFM/AG	1608	1273	2776	1503
HFM/AC	1550	1228	2713	1485
HFM/AF	1232	1122	2226	1104
FC/AG	1115	1111	2140	1029
FC/AC	1917	1926	3409	1483
FC/AF	1195	1200	2474	1274
HMG/HMG	2683	1064	2113	1049
HMG/HFM	2126	1051	2091	1040
HMG/FC	2370	1174	2204	1030

<sup>1</sup> Valor promedio de n = 2 repeticiones

\* Unidades expresadas en centipoises (cP).

## 6.5 Alimentos prototipo

La selección de los ingredientes y las mezclas de éstos a utilizar se basó principalmente en el perfil de cocción y en las características de las pastas, así como en el costo del ingrediente.

Las posibles alternativas de sustitución de AG en la formulación con pera fueron AF, y una mezcla de HFM/HMG. Para la formulación con manzana fueron las mezclas de AF/HFM y AF/FC en sustitución de AG/HMG. Finalmente para la formulación con vegetales sus alternativas fueron HMG/AF y HMG/HFM en sustitución de HMG/AC.

## 6.5.1 Estudios de la vida de anaquel de alimentos prototipo

### 6.5.1.1 Cambios en color

El valor de  $L^*$  representa la diferencia entre luz ( $L=100$ ) y oscuridad ( $L=0$ ), de forma general se observó que los valores de  $L^*$  no se vieron afectados en las tres formulaciones de los alimentos prototipo pera, manzana y vegetales; en sus tres diferentes preparaciones a temperatura ambiente y a  $35^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, a  $50^{\circ}\text{C}$  se observó una disminución notable en este valor después de 3 meses de almacenamiento indicándose con esto que las muestras de los alimentos prototipo para las tres formulaciones se hicieron más oscuras (Figura 25).

Los valores de la coordenada de color  $a^*$  representan el cambio de verde (-a) a rojo (a), para los alimentos prototipos (vegetales, manzana y pera) en sus tres diferentes formulaciones y en los tres tratamientos se incrementó, observándose un mayor aumento a  $50^{\circ}\text{C}$ , lo cual indicó que los alimentos prototipo almacenados en esta condición de estrés al final del tratamiento tuvieron un color tendiendo al rojo, debido a la temperatura se aceleran las reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimático (Figura 26).

El valor de  $b^*$  representa la diferencia entre amarillo (+b) y azul (-b), la formulación del alimento prototipo de vegetales mostró una ligera disminución en este valor a  $50^{\circ}\text{C}$  de almacenamiento en las preparaciones de harina con almidón (HMG/AC y HMG/AF), para el tratamiento a temperatura ambiente y  $35^{\circ}$  se mantuvieron sin cambios, sin embargo, en la formulación con la mezcla de harinas (HMG/HFM) se observó un comportamiento diferente en comparación con el resto de las formulaciones después del almacenamiento. Para el caso del alimento prototipo de manzana se observó un ligero aumento en este valor a  $35^{\circ}$  en las tres preparaciones, a  $50^{\circ}$  el valor de  $b^*$  disminuyó y en la preparación del alimento prototipo con AG/HMG incrementó este valor en esta condición de almacenamiento, mientras que a temperatura ambiente no hubo cambios (Figura 27).

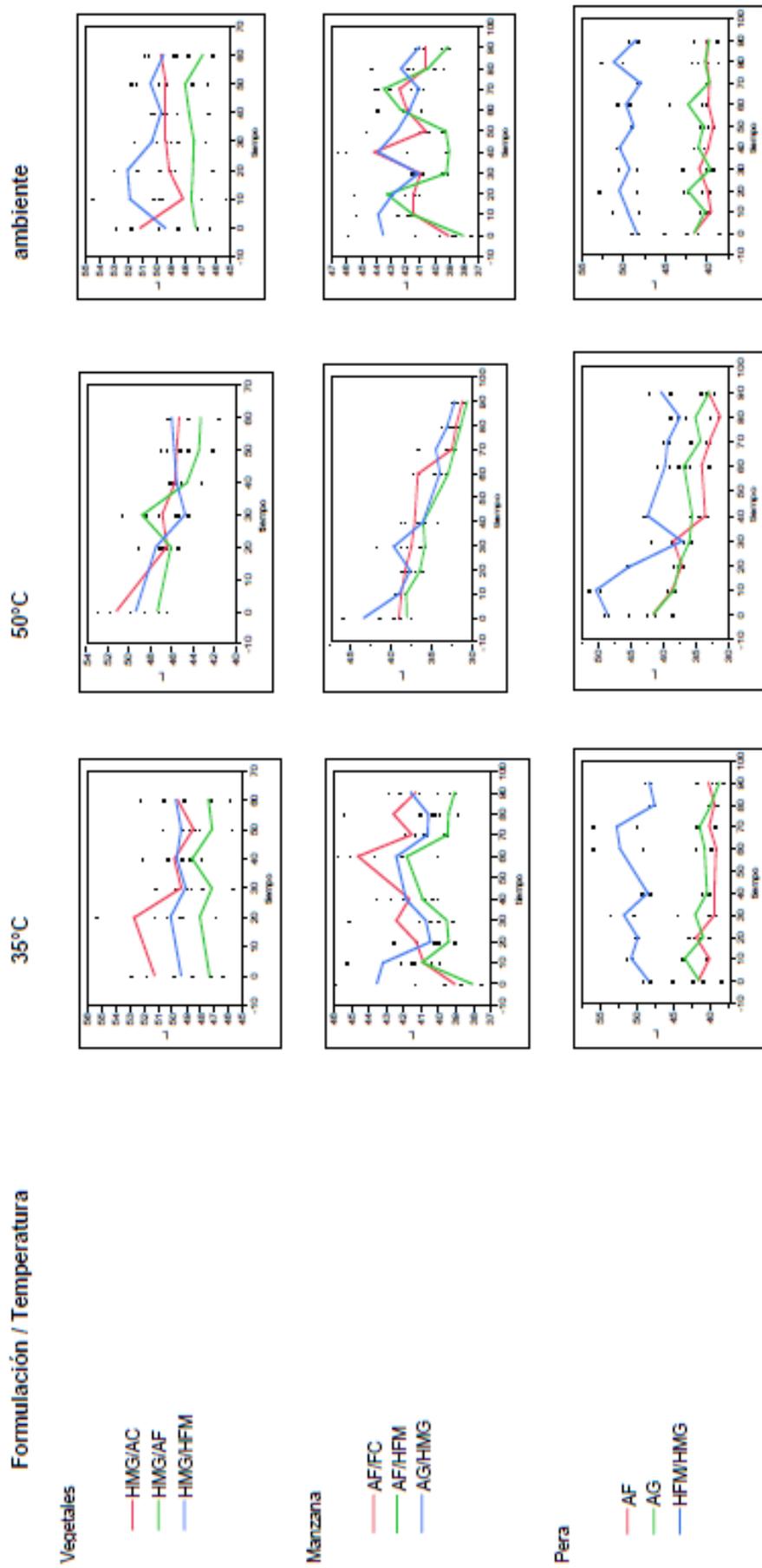


Figura 25. Cambios de color en el valor L\* en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo. (tiempo en días)

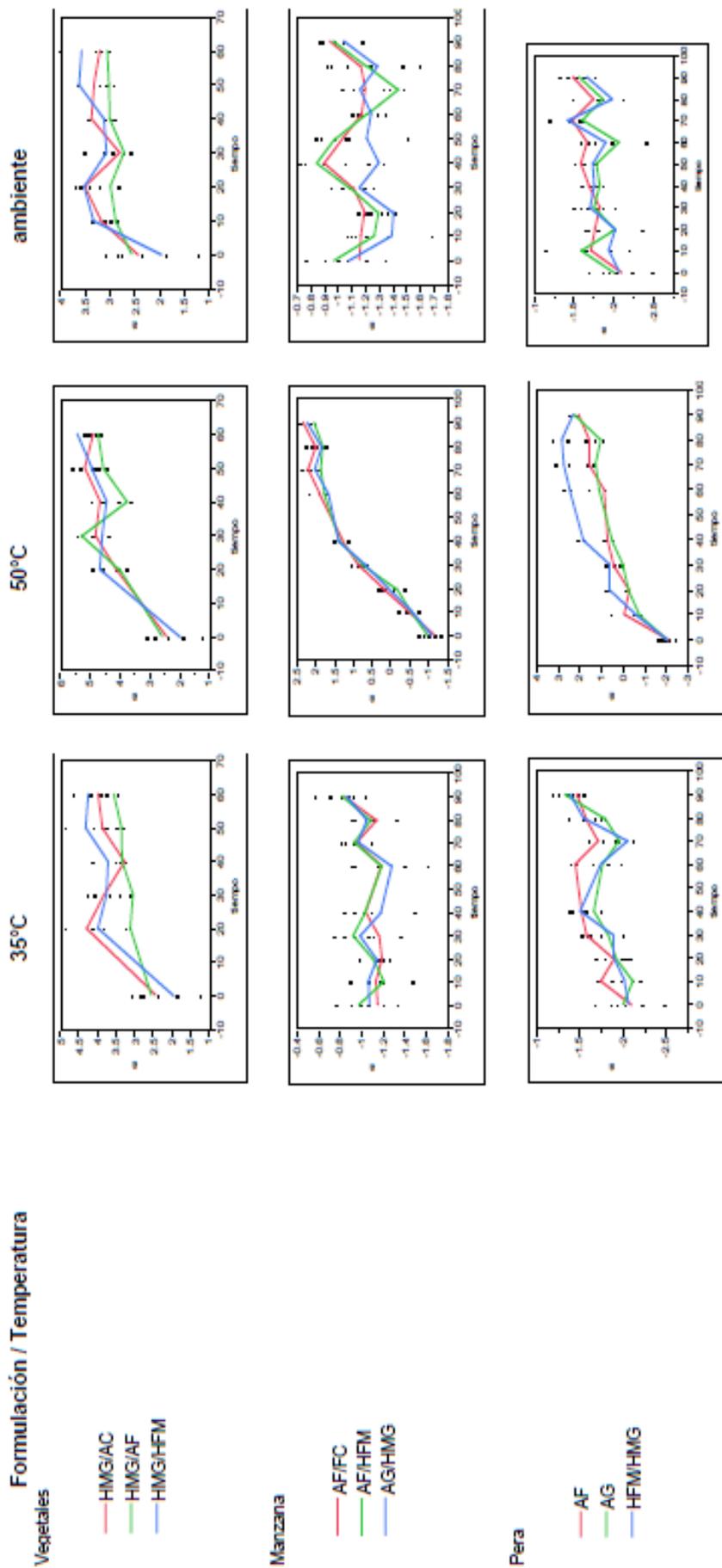


Figura 26. Cambios de color en el valor  $a^*$  en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo. (tiempo en días)

En el alimento prototipo de pera a temperatura ambiente se mantuvo sin cambios el valor de  $b^*$ , en la preparación con la mezcla de harinas nuevamente presentó cambios opuestos al resto de las preparaciones en los tratamientos a 35° y 50°C. Por lo tanto en las diferentes formulaciones de los tres alimentos prototipos donde el valor de  $b^*$  aumentó el color de las papillas al final del tratamiento fue más oscuro que al inicio del experimento (Figura 27).

#### **6.5.1.2 Cambios en consistencia**

En los alimentos prototipo de las tres formulaciones no se observaron cambios considerables en la consistencia a temperatura ambiente y a 35°; a 50° se observó una caída en la consistencia en la mezclas de harina en los alimentos prototipo de pera y vegetales, en manzana en la mezcla de AF/HFM (Figura 28). Las mezclas que mantienen la consistencia dentro de los parámetros de calidad fueron para pera en la preparación con AG (Mín. 5.5, Máx. 10.5), manzana AG/HMG (Mín. 6.5, Máx. 11), mezclas que en la actualidad son utilizadas en la preparación de los alimentos en la formulación de pera y manzana que no sufren cambios considerables durante el almacenamiento a 50° C durante tres meses. En el caso del alimento prototipo de vegetales todas las preparaciones caen dentro de este parámetro de calidad (Mín. 5, Máx. 9).

Considerando especificaciones de producto terminado, a temperatura ambiente y a 35 °C todas las formulaciones son equivalentes al control excepto en el producto prototipo de pera con HFM/HMG con el que la consistencia no cumple con su especificación. A 50 °C en el producto prototipo de vegetales en general las tres formulaciones son equivalentes y cumplen con especificaciones hasta los 40 días, a partir de 50 días la formulación HMG/AF tiende a una consistencia alta fuera de especificaciones. A 50 °C en el caso del producto prototipo de manzana ninguna formulación mantiene consistencia más allá de 10 días de almacenamiento. A 50°C en el producto prototipo pera la formulación control mantiene una consistencia notablemente dentro de especificaciones; AF sólo

mantiene especificaciones hasta los 20 días; la formulación HFM/HGM no muestra cumplimiento con especificaciones desde los 10 días de almacenamiento. En ninguno de los alimento prototipo se presentó sinéresis.

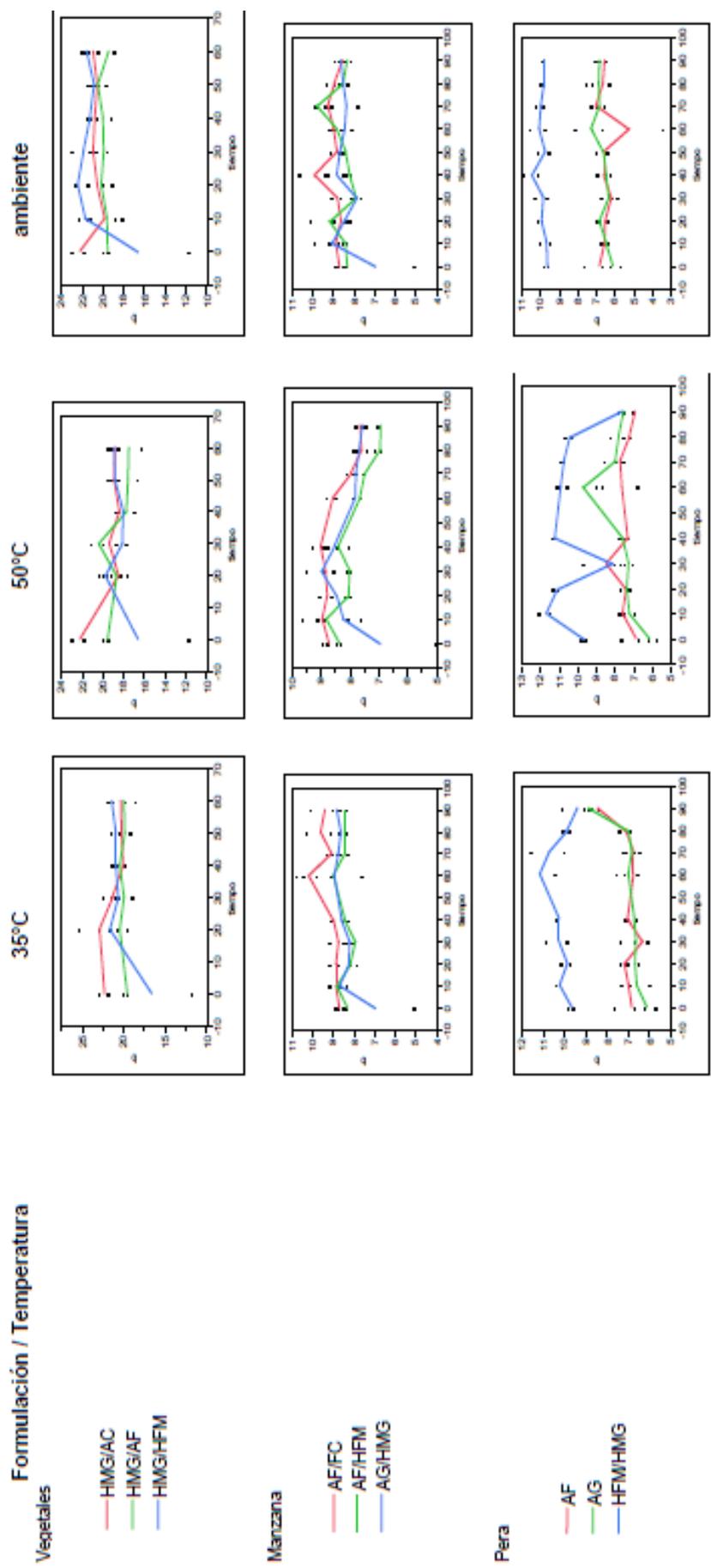


Figura 27. Cambios de color en el valor  $b^*$  en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo (tiempo en días).

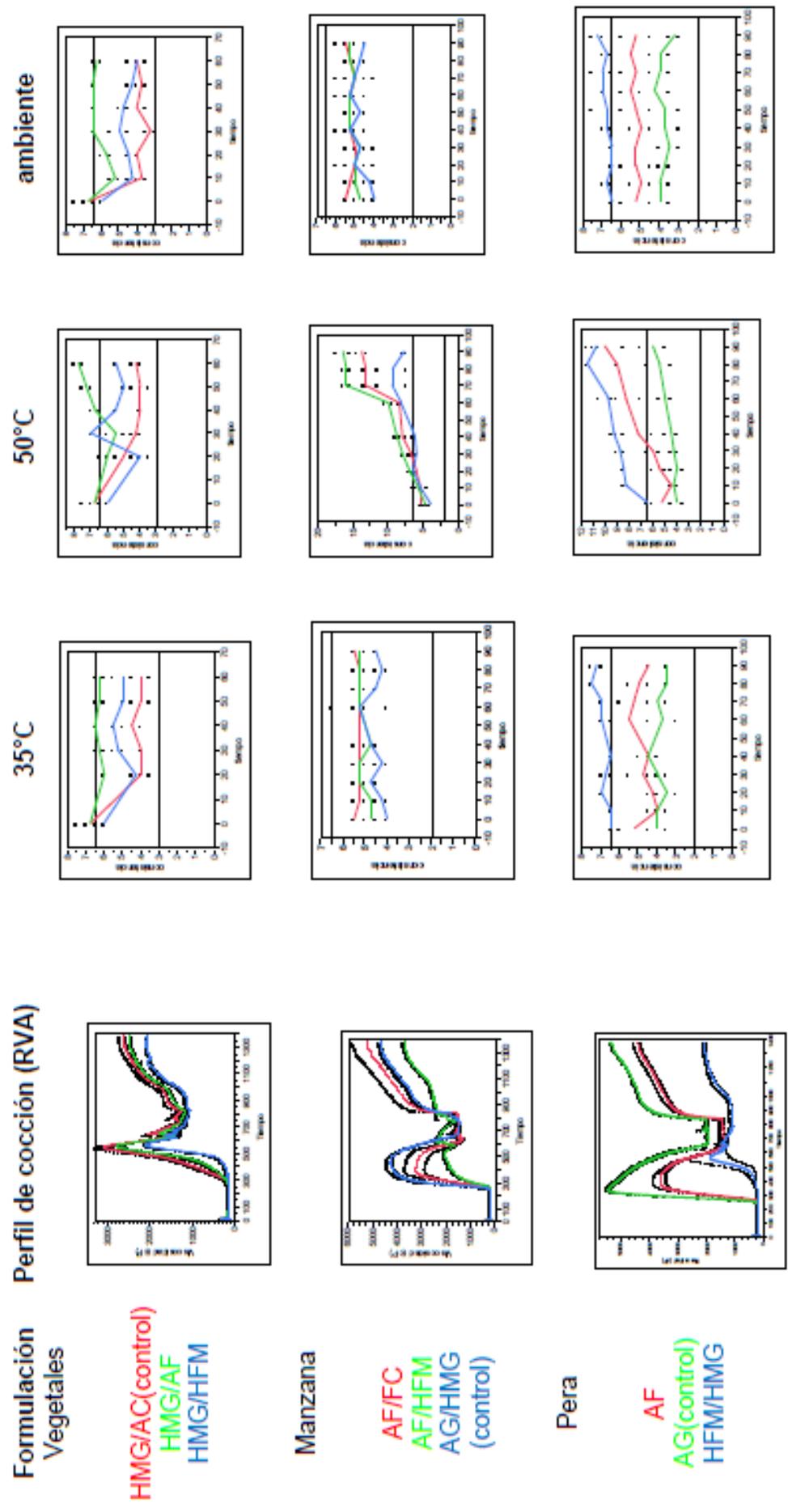


Figura 28. Cambios en la consistencia en las formulaciones con pera, manzana y vegetales de los alimentos prototipo (líneas corresponden a límites de especificación) (tiempo en días).

## II. CONCLUSIONES

A partir de las características del perfil de cocción de los diferentes ingredientes estudiados se propusieron posibles alternativas de ingredientes o mezclas binarias de ingredientes para sustituir el almidón originalmente utilizado en alimentos prototipo sin modificar las características deseadas de viscosidad y consistencia en los productos.

La adición de harina de arroz como sustituto de almidón ofrece ventajas nutricionales con respecto al almidón individual al proporcionar otros componentes de mayor valor nutricional como proteínas y grasa.

Los ingredientes o mezclas seleccionados para sustituir el almidón utilizado en cada formulación fueron los siguientes:

Para la formulación del alimento prototipo de alta acidez con pera, el almidón físicamente modificado (AF) o una mezcla binaria de harina nativa de arroz y harina de arroz físicamente modificada (HMG/HMF) resultó una buena alternativa para sustituir el almidón acetilado (AG).

Para la formulación del alimento prototipo de alta acidez con manzana, las mezclas binarias de almidón físicamente modificado y harina de arroz físicamente modificada (AF/HFM) o almidón físicamente modificado y fibra cítrica (AF/FC) fueron una buena alternativa para sustituir la mezcla de almidón acetilado y harina nativa de arroz (AG/HMG).

Para la formulación del alimento prototipo de baja acidez con vegetales, las mezclas binarias de harina nativa de arroz y almidón físicamente modificado (HMG/AF) o harina nativa de arroz y harina de arroz físicamente modificada (HMG/HMF) fueron una buena alternativa para sustituir la mezcla binaria de harina nativa de arroz y almidón bifosfatado (HMG/AC).

La digestibilidad de proteínas en los ingredientes originalmente utilizados no mostraron diferencias significativas con respecto a los ingredientes seleccionados para llevar a cabo la sustitución en las formulaciones.

Los estudios de vida de anaquel mostraron que no hubo diferencia significativa en el comportamiento de consistencia y color entre los ingredientes originales y los propuestos para las nuevas formulaciones. De igual manera, ninguno de los alimentos prototipo formulados presentó la presencia de fases que indicara inestabilidad durante el tiempo de almacenamiento en estudio.

### III. LITERATURA CITADA

- AACC. 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC. St. Paul. MN.
- Anderson, R.A, Conway H.F., Pheiser, V.F. y Griffin, E.L. 1969. Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci Today*, 14: 4 -12.
- AOAC. 2002. Oficial Methods of Análisis (17<sup>th</sup> Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Badui, S. D. 2006. Química de los alimentos. Editorial PEARSON EDUCACIÓN. México. Pp. 81, 84 -88, 91 y 92, 104 - 109.
- Bao J., Bergman C.J. 2004. Starch in food. Structure, function and applications. Chapter 9: The functionality of rice starch. Woodhead Publishing Limited, Cambridge England.
- Bowman, B. y Russell, R. 2003. Conocimientos actuales sobre nutrición, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Washington, DC 2003, EUA. Octava edición. Pp. 72 y 73
- Callejos, M., Bandiola G. y González, M., 2002. Industrias de cereales y derivados, 1ª Edición. MUNDI-PRENSA, Madrid España, Pp. 113 y 114.
- Chau C., Huang Y., 2003. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fiber prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *Agricultural and food chemistry*. 51, 2615-2618.
- Cheetham Norman W. H. y Tao Leping. 1998. Variation in crystalline type with amilosa content in maize starch granules: an X-ray power diffraction study. *Carbohydrate Polymers*. 36:277-284.
- Copeland L., Blazek J., Salman H., Chiming, M. 2008. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 1-8.
- Cubero, N., Monferrer, A., y Villalta, J., 2002. Aditivos alimentarios. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 115-120.
- Rivera, J., Cuevas L., Shamah T., Villalpando S., Avila M., Jiménez A. 2006. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Pp. 86 y 92.
- Delzenne N.M., Cani P.D., Delmeé E. y Neyrinck A.M. 2007. Novel food ingredients for weight control. Woodhead Publishing Limited, Cambridge England. Pp. 153, 154, -168

- DeMan, J. M., 1999. Principles of Food Chemistry (Third Edition), Aspen Publishers, Inc. Pp. 179 – 181, 190.
- Fortuna T., Janunszewska R., Juszcak L., Kielski A., Palasinski M., 2000. The influence of Storch pore characteristic on pasting behavior. International Journal of Food Science and Technology, 35:285-291.
- Gomez M.H., Mcdonough CM, Rooney LW, Waniska RD. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. J. Food Sci. 54(2): 330-336.
- González, Z. y Pérez, E. 2002. Effect of acetylation on some properties of rice starch. Starch. 54:148-154.
- Henry C. J. K., Chapman C. 2002. The nutrition handbook for food processors, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England. pp. 303
- Hsu H., Savak D., Satterlee D. Y Miller G., 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journal of food Science. 42(5):1269- 1273.
- Karim A. A. y Norziah M. H. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry 71: 9-36.
- Lawal, O.S. 2004. Succinyl and acetyl starch derivatives of a hybrid maize: Physicochemical characteristics and retrogradation properties monitored by differential scanning calorimetry. Carbohydrate Research. 339:2673-2682.
- Linden G. y Lorient D. 2000. New ingredients in food processing, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England. Pp. 242, 243, 247, 252, 255, 259, 260, 262-264.
- Manrique-Quevedo, N., González-Soto, R., Othman-Abu-Hardan, M., García-Suárez, F., y Bello-Pérez, L. 2007. Characterization of pregelatinized blends of mango and banana starches with different extrusion conditions. Agrociencia 41: 637-645.
- Mariotti, M., Zardi, M., Lucisano, M. y Ambrogina M. P., 2005. Influence of Heating Rate on Pasting Properties. www.starch-journal.de *Starch/Stärke* 57: 564–572.
- Mohanty A. K., Misra M., Thaddeus L. 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Illustrated. Pp. 45-48, 182, 183-187.
- Nara, S., Mori A. y Komiya T. 1978. Study on relative crystallinity of moist potato starch. *Die starke* 30:111.

- Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends in Food Science Technology* 8: 375-382.
- Ordorica-Falomir, CA. 1988. Obtención de los aislados proteínicos por micelización y precipitación isoeléctrica a partir de pastas de cártamo. *Tesis de Doctorado*. Doctorado en Ciencias en Biotecnología en plantas, CINVESTAV-Irapuato, México.
- Parker, R. y Ring, S. G. 2000. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *Journal of Cereal Science* 34:1-17.
- Pasquel, A., 2001. Gomas: una aproximación a la industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1:1- 8.
- Rached L., De Vizcarrondo C., Rincón A. y Padilla F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 56 (4).
- Rincón A. M., Rached L. B, Aragoza L. E. y 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. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 57 (3): 287-294
- Rodríguez, E., Fernández, A., Alcalá, L. y Ospina, B. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería & Desarrollo*. 19: 17-30
- Sajilata, M. G. y Singhal R. S., 2005. Specialty Starch for snack foods. *Carbohydrate Polymers*, 59: 131-151.
- Singh, J., Kaur, L. y McCarthy, O.J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemical modified starches for food applications-A Review. *Food Hydrocolloids*. 21:1-22.
- Tabilo-Munizaga, G. y Barbosa-Cánovas, G. 2005. Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering* 67: 147-156.
- Tharanatha, R. N., 2005. Starch ---- Value Addition by Modification. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:371-384.
- Thomas, D. J. and Atwell W. A. 1999. *Starches*, Eagan Press Handbook Series, Eagan press. Pp. 1, 7, 13, 19, 21, 22, 27, 28, 31, 52.
- Vaclavik, V.A.y Christian, E. W. 2008. *Essentials of food science*. Editorial Springer, Pp. 44, 45, 52, 49 -54.

Vandeputte, G.E., Vermeulen, R., Geeroms, J., Delcour, J.A. 2003. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. *Journal of Cereal Science* 38: 43–52.

[www.alimentacioncomunitaria.org/secciones/alimentos\\_arroz.html](http://www.alimentacioncomunitaria.org/secciones/alimentos_arroz.html)

Xian-Zhong, H., 2001. Influence of starch structure and starch granule-associated proteins on rheological properties of starch pastes. Tesis doctoral. Purdue University.