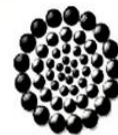




Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica



CONACYT



PROPIEDADES DE COCCIÓN DE PASTAS DE TRIGO CON ÍNDICE GLUCÉMICO REDUCIDO ADICIONADAS CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA

TESIS

Que para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Presenta:

IBQ Alan Moisés Téllez Rangel

Dra. Eva Rodríguez Huevo, Director Interno de Tesis
Dra. Ruth Pedroza Islas, Director Externo de Tesis

Ecatepec de Morelos, Estado de México, Febrero del 2014



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

**AVISO DE TERMINACIÓN DE PROYECTO
DE TESIS**

TIT04-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

Folio: **MCIBQ/2011/TERA880320KR8**

Fecha: 28 de enero del 2014

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis: **PROPIEDADES DE COCCIÓN DE PASTAS DE TRIGO CON ÍNDICE GLUCÉMICO REDUCIDO ADICIONADAS CON FIBRA NATURAL Y SINTÉTICA**, que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

TÉLLEZ

Apellido paterno

RANGEL

Apellido materno

ALAN MOISÉS

Nombres (s)

Matrícula: **201121613**

El Director de Proyecto **Dra. MARÍA EVA RODRÍGUEZ HUEZO** da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

Dra. María Eva Rodríguez Huevo
Director Interno

Dra. María Aurora Martínez Trujillo
Asesor

Dra. Ruth Pedroza Islas
Director Externo

Dra. Isabel de la Luz Membrillo Venegas
Asesor

| | | |
|--|---|--|
| Elaboró: Dra. María Eva Rodríguez Huevo Director de Proyecto | Revisó: Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado | Vo. Bo.: M.en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División |
|--|---|--|



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE
PROYECTO DE TESIS
TIT05-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Fecha: 28 de Enero del 2014

Datos generales
Nombre del alumno:

TÉLLEZ

Apellido paterno

RANGEL

Apellido materno

ALAN MOISÉS

Nombres (s)

Matrícula: 201121613

PROYECTO: Propiedades de cocción de pastas de trigo con índice glucémico reducido adicionadas con fibra natural y sintética

DIRECTORES: Dra. María Eva Rodríguez Huezo & Dra. Ruth Pedroza Islas

Dictamen:

Con base en el registro No. MCIBQ/2011/TERA880320KR8 correspondiente al periodo escolar 2011-02, asignado al proyecto de tesis Propiedades de cocción de pastas de trigo con índice glucémico reducido adicionadas con fibra natural y sintética y presentado por el alumno referido; y después de haber sido desarrolladas las actividades requeridas, el Comité Tutorial, conformado por los integrantes que firman al calce, ha determinado que SI (X) NO () han sido cubiertos en su totalidad los requisitos que permitan a esta División Académica liberar al alumno de los trámites académicos para tal efecto e iniciar el trámite de obtención de grado de maestría en la Unidad de Registro y Certificación de este Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Observaciones:

Comité Tutorial

Dra. María Eva Rodríguez Huezo

Director Interno

Dra. Ruth Pedroza Islas

Director Externo

Dra. María Aurora Martínez Trujillo

Asesor

Dra. Isabel de la Luz Membrillo Venegas

Asesor

| | | |
|--|--|--|
| Elaboró: Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado | Revisó y Visto Bueno: M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División | Enterado: M. en C. Armando Alcalde Martínez Director Académico |
|--|--|--|



El Posgrado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec está incluido en el Padrón Nacional de Posgrado, con categoría de Alto Nivel, con el número de referencia 1665-0.

Esta Tesis fue realizada con el apoyo de la Beca 263465 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).



Agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la beca complementaria folio 13BTM2291 otorgada para la escritura de esta tesis.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo económico brindado por parte de CONACyT y COMECyT sin el cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Agradezco a la Dra. Ruth Pedroza Islas de la Universidad Iberoamericana por la aportación de sus conocimientos y su apoyo al permitirnos el acceso a su laboratorio.

Dra. Diana Jaqueline Pimentel González del Instituto de Ciencias Agropecuarias, por permitirme realizar en sus instalaciones las pruebas de fibra total y proteína.

Dra. Arely Prado Barragán y Dra. Keiko Shirai Matsumoto ambas de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitirme liofilizar las pastas en sus respectivos laboratorios.

Dra. Perla Osorio Díaz y Dr. Luis Arturo Bello Pérez ambos del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos por permitirme el uso de su laboratorio en la determinación del índice glucémico. Al Técnico José Juan por su apoyo y paciencia en las técnicas de almidón disponible e hidrolisis de almidón.

Dr. Jaime Vernon Carter de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitir hacer uso del laboratorio de Bioprocesos del cual es responsable.

Gerardo Avilés y Luis Soto por su ayuda incondicional para las mediciones de textura de las pastas.

Gracias a la Dra. Mayola Gracia Rivero y Dra. Ma. Aurora Martínez Trujillo ambas del TESE, por la aportación de sus conocimientos y su apoyo al permitirme el acceso a su laboratorio en la determinación de grasa.

Gracias también Aurora, Erick, Susy, Janeth, Arturo, Noe, Liz, Mitchel y todos aquellos que durante este posgrado me brindaron su apoyo incondicional.

También agradezco a mis revisores de tesis por sus observaciones y el tiempo invertido que dedicaron a la lectura de este trabajo.

Por último y no con menos importancia agradezco a la Dr. Eva Rodríguez Huevo, por su apoyo, paciencia y dedicación, por la seriedad y compromiso que mostró durante el proyecto.

Dedicatorias

Este trabajo está dedicado a mis padres, Moy y Many, por darme fortaleza para enfrentar los obstáculos en mi camino, por el enorme esfuerzo que hacen por el bienestar de la familia y su amor infinito.

A mis hermanos, Gaby, Raquel y Erick, por su apoyo incondicional, cuidados, guía, y cariño.

A mi sobrino Alexander por brindarme esa alegría, que contagia con su sonrisa.

A mi muy querida y adorada Susy, por brindarme su apoyo, consejos y amor.

De manera muy especial a la Dra. Eva Rodríguez Huevo por su apoyo durante esta formación académica.

Índice

| | | |
|---------|--|-----|
| 0 | Resumen y Abstract..... | X |
| 0.1 | Resumen..... | X |
| 0.2 | Abstract..... | xii |
| 1 | Introducción..... | 1 |
| 2 | Justificación..... | 3 |
| 3 | Objetivos..... | 6 |
| 3.1 | Objetivo general..... | 6 |
| 3.2 | Objetivos particulares..... | 6 |
| 4 | Antecedentes..... | 7 |
| 4.1 | Trigo..... | 7 |
| 4.1.1 | Composición y valor nutricional..... | 7 |
| 4.1.2 | Clasificación del trigo..... | 8 |
| 4.1.3 | Producción en México..... | 9 |
| 4.1.4 | Trigocristalino (<i>Triticum durum</i>)..... | 10 |
| 4.1.5 | Sémola..... | 11 |
| 4.2 | Pastas Alimenticias..... | 12 |
| 4.2.1 | Clasificación de las pastas alimenticias..... | 12 |
| 4.2.1.1 | Clasificación general..... | 12 |
| 4.2.1.2 | Clasificación según su forma..... | 13 |
| 4.2.2 | Características de pastas..... | 13 |
| 4.2.3 | Pastas desde el punto de vista nutricional..... | 14 |
| 4.3 | Fibra dietética..... | 14 |
| 4.3.1 | Tipos de fibra dietética..... | 15 |
| 4.3.1.1 | La fibra insoluble..... | 16 |
| 4.3.1.2 | La fibra soluble..... | 16 |
| 4.3.2 | Polidextrosa..... | 16 |
| 4.3.3 | Fibra de maíz..... | 18 |
| 4.3.4 | Fibra de chícharo amarillo..... | 19 |
| 4.4 | Biodisponibilidad de carbohidratos..... | 20 |
| 4.5 | Almidón..... | 23 |
| 4.5.1 | Estructura química del almidón..... | 24 |
| 4.5.1.1 | Amilosa..... | 24 |
| 4.5.1.2 | Amilopectina..... | 24 |
| 4.5.2 | Digestibilidad del almidón..... | 25 |
| 4.6 | Índice glucémico..... | 26 |
| 4.6.1 | Origen..... | 26 |
| 4.6.2 | Definición..... | 27 |
| 4.6.3 | Métodos para medir el I.G..... | 28 |
| 4.6.4 | Factores que modifican el I.G. de los alimentos..... | 28 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5 | Materiales y Métodos. | 30 |
| 5.1 | Materiales. | 31 |
| 5.2 | Métodos. | 31 |
| 5.2.1 | Elaboración de la pasta. | 31 |
| 5.2.2 | Análisis fisicoquímico. | 32 |
| 5.2.2.1 | Humedad | 33 |
| 5.2.2.2 | Lípidos | 33 |
| 5.2.2.3 | Proteína | 34 |
| 5.2.2.4 | Ceniza | 35 |
| 5.2.2.5 | Fibra dietaría total. | 35 |
| 5.2.3 | Pruebas de cocción | 37 |
| 5.2.3.1 | Tiempo óptimo de cocción. | 37 |
| 5.2.3.2 | Grado de absorción de agua. | 37 |
| 5.2.3.3 | Incremento de volumen. | 38 |
| 5.2.3.4 | Sólidos disueltos en el agua. | 39 |
| 5.2.3.5 | Índice de tolerancia al cocimiento | 39 |
| 5.2.4 | Análisis de biodisponibilidad. | 40 |
| 5.2.4.1 | Almidón disponible. | 40 |
| 5.2.4.2 | Hidrólisis de almidón | 41 |
| 5.2.4.3 | Predicción del índice glucémico. | 41 |
| 5.2.5 | Análisis reológico | 42 |
| 5.2.5.1 | Análisis de perfil de textura (APT) | 43 |
| 5.2.5.2 | Análisis de firmeza | 44 |
| 5.2.5.3 | Análisis de pegajosidad | 44 |
| 5.2.5.4 | Curvas de flujo y Barrido de amplitud. | 45 |
| 5.2.6 | Análisis físico. | 45 |
| 5.2.6.1 | Análisis de color de las pastas crudas. | 45 |
| 5.2.6.2 | Distribución de tamaño de partícula. | 46 |
| 5.2.6.3 | Microscopía electrónica de barrido | 47 |
| 5.2.7 | Análisis estadístico | 47 |
| 6 | Resultados y Discusión. | 48 |
| 6.1 | Análisis fisicoquímico. | 48 |
| 6.1.1 | Análisis de color de las pastas crudas. | 51 |
| 6.2 | Pruebas de cocción. | 53 |
| 6.3 | Análisis de biodisponibilidad. | 56 |
| 6.3.1 | Almidón disponible. | 56 |
| 6.3.2 | Hidrólisis de Almidón. | 58 |
| 6.3.3 | Predicción del índice Glucémico. | 61 |
| 6.4 | Análisis reológico. | 62 |
| 6.4.1 | Análisis de perfil de textura (APT). | 62 |
| 6.4.2 | Análisis de firmeza. | 65 |
| 6.4.3 | Análisis de pegajosidad. | 66 |

| | | |
|---------|--|----|
| 6.4.4 | Curvas de flujo y barridos de amplitud. | 67 |
| 6.5 | Análisis físico. | 71 |
| 6.5.1 | Distribución de tamaño de partícula. | 71 |
| 6.5.2 | Microscopía electrónica de barrido (MEB). | 74 |
| 6.5.2.1 | Micrografía de sémola y fibras utilizadas..... | 74 |
| 6.5.2.2 | Micrografía de pastas cocidas | 76 |
| 7 | Conclusiones. | 78 |
| 8 | Bibliografía | 80 |

Índice de Tablas

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 1. | Composición química proximal de los cereales. | 8 |
| Tabla 2. | Clasificación del trigo en México con base en la funcionalidad del gluten. | 8 |
| Tabla 3. | Clasificación general de las pastas alimenticias. | 12 |
| Tabla 4. | Clasificación según su forma. | 13 |
| Tabla 5. | Clasificación de los carbohidratos de acuerdo a su biodisponibilidad. | 22 |
| Tabla 6. | I.G. de alimentos con hidratos de carbono complejos y simples. | 26 |
| Tabla 7. | Método <i>invivo</i> e <i>invitro</i> | 28 |
| Tabla 8. | Factores que modifican el I.G. de los alimentos | 29 |
| Tabla 9. | Pruebas fisicoquímicas de las pastas | 50 |
| Tabla 10. | Color de la pasta cruda por Colorímetro AccuProbe HH06 | 52 |
| Tabla 11. | Pruebas de cocción..... | 55 |
| Tabla 12. | Almidón disponible | 57 |
| Tabla 13. | Índice de hidrólisis 90min, índice glucémico predicho y porcentaje de reducción del pIG. | 61 |
| Tabla 14. | Análisis de perfil de textura de pastas con 18% de fibra, medido texturómetro TA.XTplus | 64 |
| Tabla 15. | Pegajosidad de pastas cocidas. | 67 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Componentes del grano de trigo. | 7 |
| Figura 2. Producción de trigo en México | 9 |
| Figura 3. Trigo panadero y cristalino..... | 10 |
| Figura 4. Harina y Sémola de trigo. | 11 |
| Figura 5. Representación de la estructura de la povidexrosa..... | 17 |
| Figura 6. Estructura de la dextrina resistente Nutriose® fm10 | 18 |
| Figura 7. Factores que influyen en la biodisponibilidad de carbohidratos..... | 21 |
| Figura 8. Gránulos de almidón de papa. | 23 |
| Figura 9. Estructura química de la amilosa..... | 24 |
| Figura 10. Estructura química de la amilopectina. | 25 |
| Figura 11. Diagrama experimental de trabajo. | 30 |
| Figura 12. Elaboración de la pasta. | 32 |
| Figura 13. Equipo Glas-Col® combo con 6 mantillas de calentamiento. | 33 |
| Figura 14. Destilador BüchiK-350 y digestor | 35 |
| Figura 15. Reómetro MCR 300 y Texturómetro TA.XT plus..... | 42 |
| Figura 16. Curva típica de Análisis de Perfil de Textura | 44 |
| Figura 17. Colorímetro AccuProbe HH06..... | 45 |
| Figura 18. Mastersizer 2000 y Zetasizer Nano ZS90..... | 46 |
| Figura 19. Curvas promedio de hidrólisis de almidón para todas las pastas formuladas..... | 60 |
| Figura 20. Firmeza de pastas cocidas | 65 |
| Figura 21. Curvas de flujo de los distintos geles. | 69 |
| Figura 22. Barridos de deformación..... | 69 |
| Figura 23. Tamaño de partícula de fibras..... | 72 |
| Figura 24. Tamaño de partícula de geles..... | 73 |
| Figura 25. Micrografía electrónica de barrido a 500x y 100x de la sémola y fibras. 75 | |
| Figura 26. Micrografía electrónica de barrido a 500x y 100x (pastas con 18%).... | 77 |

0 Resumen y Abstract

0.1 Resumen

Las pastas de trigo son de los alimentos más consumidos en México debido a su fácil preparación y bajo costo, lo que las hace un buen vehículo para incrementar el consumo de fibra. Adicionalmente, estas características apoyarían en la disminución del déficit de consumo de este ingrediente. En este trabajo se produjeron doce pastas tipo fettuccine basadas en sémola de trigo y fibra dietética de distintas fuentes naturales: maíz (PFM) y chícharo (PFC); y sintética: povidexrosa (PFPD). El porcentaje de sustitución de la sémola por fibra dietaria fue entre 6-18 % p/p. Además se preparó una pasta control con sémola, sin fibra adicionada. Se realizaron análisis fisicoquímicos (humedad, grasa, proteína, ceniza y fibra dietaria total); pruebas de cocción (tiempo óptimo de cocción, grado de absorción de agua, incremento de volumen, sólidos disueltos e índice de tolerancia al cocimiento); análisis de biodisponibilidad (almidón disponible, hidrólisis de almidón e índice glucémico), análisis reológico (análisis de perfil de textura, firmeza, pegajosidad, curvas de flujo y barrido de amplitud); y análisis físico (tamaño de partícula y microscopia electrónica de barrido). Los resultados mostraron que las pastas con fibra disminuyeron su contenido de humedad, grasa, proteína y un aumento de ceniza y fibra dietaria total. En las pruebas de cocción se observó un efecto significativo en las formulaciones con 18% de fibra, el tiempo óptimo de cocción e índice de tolerancia al cocimiento fue mayor en todas las pastas adicionadas con fibra. El incremento de volumen y el grado de absorción de agua fue menor en las pastas adicionadas con fibras. El índice de hidrólisis del almidón disminuyó con el incremento de fibra adicionada en las pastas independientemente del tipo de fibra. La predicción del índice glucémico (pIG) calculado fue significativamente menor en las pastas con 18% de fibra comparado con el control, a estas pastas con menor pIG se les analizó textura, obteniendo que las PFC tienen características similares a PC. Sin embargo las PFPD y PFM fueron las menos duras y cohesivas pero más elásticas, adhesivas y pegajosas. Los barridos de amplitud y curvas de flujo realizados a geles al 10% de sólidos (sémola 82% y fibras 18%) y un gel control (sin

la adición de fibra, GC) mostraron que GC y GFC presentaron curvas de gran similitud. Las micrografías electrónicas de barrido muestran que laPFC₁₈presentó mayor porosidad y las PFM₁₈y PFPD₁₈ menor porosidad, en comparación con PC. Los resultados obtenidos muestran que la adición de fibra de chícharo al 18% y povidexrosa 9.3 y 18% generaron pastas funcionales las cuales pueden ser recomendadas en dietas con regímenes especiales.

0.2 Abstract

Wheat pasta is one of the most consumed foods in Mexico due to their ease of preparation and low cost, making them a suitable vehicle for promoting fiber consumption. Dietary fiber intake in Mexico is low, and by supplementing wheat pasta with fiber we may contribute to readdress this trend. In this work twelve fettuccine type pastas were manufactured using wheat semolina as base ingredient, added with natural dietary fiber from maize (PFM) and pea (PFC), and from polydextrose (PFPD), a synthetic source. Dietary fiber was added in partial substitution of wheat semolina (6-18 % w/w). Wheat pasta without the addition of dietary fiber was used as control. Pastas were physicochemically (moisture, fat, protein, ash and total dietary fiber contents) analyzed; cooking conditions (cooking optimum time, degree of water absorption, volume increase, dissolved solids, and cooking tolerance index) were studied; the bioavailability (starch availability, hydrolysis and glucemic index) were determined; the textural and rheological properties (Texture profile analysis, firmness, stickiness, flow curves and amplitude sweeps) and physical properties (particle size and scanning electron microscopy) were determined. Results showed that pasta with added dietary fiber exhibited lower moisture, fat, and protein contents, but higher ash and dietary fiber contents. Optimum cooking took longer time and the cooking tolerance index was higher for pastas with 18 % fiber content. The volume increase and water absorption was lower in pastas added with dietary fiber. Starch hydrolysis index decreased when dietary fiber was added to pasta, independently of the type of fiber used. The calculated predicted glucemic index (pIG) was significantly lower for the pastas added with 18 % fiber as compared to the control, and their texture was analyzed. It was found that PFC exhibited similar characteristics to PC, but that PFPD and PFM were less firm and cohesive, but more elastic, adhesive and sticky. Amplitude sweeps and flow curves performed on 10 % weight starch gels (82 % semolina and 18 % fiber) showed that the control gel (without added fiber) and GFC exhibited similar behavior. The scanning electron micrographs showed that PFC18 presented a more porous structure and PFPD18 a less porous structure than PC. The results indicate that an addition of pea fiber at 18 % and of polydextrose at 9.3 and 18 % generated functional pastas that can be recommended for special regime diets.

1 Introducción

La pasta es un alimento de alta aceptabilidad a nivel mundial debido a que forma parte de los hábitos alimenticios de muchas poblaciones porque resulta ser un alimento de bajo costo, fácil de preparar, versátil y presenta una larga vida de anaquel (Torres y col., 2009; Granito y Ascanio, 2009). En cuanto a su valor nutricional, la pasta alimenticia no constituye una fuente especialmente rica en minerales, tiene un bajo contenido de grasa y fibra alimentaria, además de que es un alimento rico en carbohidratos digeribles y no digeribles (Kill y Turnbull, 2004).

La ingesta de fibra dietaria en los países desarrollados se estima en cantidades próximas a 20 g/persona/día (Valencia y Román, 2004). La Asociación Dietética Americana (ADA) recomienda una ingesta diaria de fibra total para adultos menores de 50 años de 38 g para los hombres y 25 g para las mujeres, mientras que para los hombres y mujeres mayores de 50 años es del 30 y 21 g, respectivamente (Beristainy col, 2006).

En los últimos años se ha señalado la importancia de describir y discutir los principios de la determinación del IG, que se originó para clasificar a los alimentos de acuerdo a las respuestas fisiológicas en cuanto a la concentración de glucosa en sangre que provocaban en los individuos y con esto apoyar el tratamiento dietético de pacientes diabéticos (Jenkins col., 1981).

Esta clasificación de los alimentos ha sido utilizada para el control de otras enfermedades como sobrepeso, obesidad, dislipidemias y enfermedades cardiovasculares, encontrando grandes beneficios; por lo que ahora no sólo se utiliza en la práctica clínica, sino también para lograr una alimentación saludable en cualquier etapa de la vida, incluso en deportistas o mujeres durante el embarazo (Wolever, 2006).

Es por esto que el presente trabajo está enfocado en evaluar el efecto de la adición de fibra de maíz, chícharo y povidexrosa en pastas alimenticias, sobre la calidad de cocción y la reducción del Índice Glucémico

2 Justificación

En la población mexicana existen malos hábitos alimenticios, sedentarismo y sobrepeso causados por dietas altas en carbohidratos y bajas en fibra. Estos malos hábitos nos han llevado de acuerdo a estadísticas presentadas por el INEGI en 2008 a tener una tasa de incidencia de diabetes mellitus tipo II (DM tipo 2) de 371.55 personas por cada cien mil. Este tipo de diabetes se observa en adultos, y se relaciona con la obesidad; anteriormente llamada diabetes del adulto o diabetes relacionada con la obesidad. Otra cifra alarmante, en el 2011 México ocupó el séptimo lugar mundial en muertes por diabetes y el tercer lugar en el continente americano según datos de la Federación Internacional de Diabetes (IDF).

En febrero del 2012, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), informó que México era el segundo país con más obesidad o con sobrepeso de una lista que incluye a 40 naciones, agregando que tres de cada siete mexicanos tienen una cintura más grande de lo que deberían (CNN México, 2013).

La obesidad se origina por la interacción de múltiples factores genéticos y ambientales, se acompaña de alteraciones del metabolismo que predisponen al deterioro progresivo de la salud y al desarrollo de otras patologías crónico-degenerativas, como: aterosclerosis, enfermedades cardiovasculares, y diabetes mellitus tipo 2 (DM2) (González, 2001). El 44% de las causas de las muertes relacionadas con la obesidad se refieren a diabetes, 23% cardiopatías isquémicas y entre el 7% y 41% del origen de algunos cánceres son atribuibles al sobrepeso. (Aguirre, 2012).

Actualmente se sabe que dietas conformadas por alimentos con hidratos de carbono de bajo y moderado índice glucémico favorecen el control de DM (Monroy y col 2008). El incremento en los niveles plasmáticos de glucosa provocado por la ingestión de alimentos depende de la velocidad de vaciamiento gástrico y de la velocidad de digestión y absorción de los productos de esa digestión. La incorporación de fibra dietética a un alimento mejora la tolerancia a la glucosa al diluir los hidratos de carbono digeribles (azúcares simples y almidones). El aumento de volumen del alimento puede reducir la cantidad de hidrato de carbono digerible en una ración (Horowitz et al., 1993).

Las pastas son alimentos atractivos y de alto consumo en México y en todo el mundo porque combinan bajo precio, fácil preparación y larga vida de anaquel. Por estas razones la tendencia actual se inclina a generar pastas funcionales; ya que existe la necesidad de alimentos de alto consumo a los cuales se les adicione fibra y los cuales contengan características sensoriales aceptables.

Actualmente se conocen evidencias científicas sobre la relación entre la alimentación y la salud, particularmente en enfermedades tales como constipación, diverticulosis, colitis, hemorroides, cáncer de colon y recto, diabetes mellitus y aterosclerosis todas estas relacionadas a la ausencia de fibra en la dieta. (Escudero y González, 2006) En las sociedades industrializadas, donde una gran parte de la población tiene cubiertas las necesidades nutricionales mínimas, se demandan cada vez más alimentos funcionales con los atributos sensoriales de los tradicionales, pero que proporcionen beneficios para la salud o la reducción del riesgo de sufrir estas enfermedades.

Los alimentos funcionales son aquellos alimentos que contienen componentes biológicamente activos que ofrecen beneficios para la salud y reducen el riesgo de sufrir enfermedades. En los últimos años es cada vez mayor la importancia de los Alimentos Funcionales, concepto que nació en Japón en los años 80, ante la necesidad de controlar gastos sanitarios y mejorar la calidad de vida de los ancianos

(Valencia y Román,2004). El objetivo de este trabajo fue formular y evaluar pastas alimenticias con índice glucémico disminuido, adicionadas de fibra y de características sensoriales aceptables, contribuyendo así a la disminución del riesgo de enfermedades relacionadas con la escasa ingesta de fibra.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Formulación y evaluación de pastas alimenticias con índice glucémico disminuido, adicionadas de fibra y de características sensoriales aceptables.

3.2 Objetivos particulares

- Formulación y obtención de las pastas alimenticias con los diferentes porcentajes y tipos de fibras.
- Evaluación fisicoquímica de las pastas tales como: humedad, grasa, proteína, ceniza, fibra dietaría total y color.
- Evaluación culinaria de las pastas: Tiempo óptimo de cocción, Grado de absorción de agua, incremento de volumen, porcentaje de sedimentación e índice de tolerancia al cocimiento.
- Análisis de biodisponibilidad: almidón disponible (AD) hidrolisis de almidón e índice glucémico (IG).
- Análisis reológico para las pastas con mayor reducción de IG: análisis de (APT), análisis de firmeza, pegajosidad, curvas de flujo y barridos de amplitud.
- Análisis físico: distribución de tamaño de partícula y microscopia electrónica de barrido.

4 Antecedentes

4.1 Trigo

A nivel mundial el trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana. La importancia del trigo en la dieta de los seres humanos reside principalmente en su alto valor energético, además que contiene más proteína que el maíz y el arroz. (Peña y col, 2007) En México el trigo es la tercera fuente de nutrientes de bajo costo en la dieta del mexicano (después del maíz y frijol), sobre todo para las poblaciones rurales y urbanas de escasos recursos. (Serna-Saldívar, 1996).

4.1.1 Composición y valor nutricional

En la Figura 1 se muestra un grano de trigo, este tiene una forma ovoide. Las capas externas se eliminan durante el proceso de molienda. Está conformado por el salvado, el endospermo y el germen.

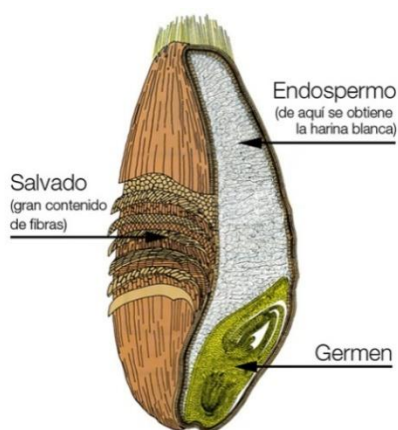


Figura 1. Componentes del grano de trigo.

El salvado corresponde a las capas externas del grano y más concretamente al pericarpio con sus tres subcapas: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (ricas en fibras y minerales), la testa (rica en vitaminas y enzimas) y la capa aleurona (rica en proteína y grasa) (Ospina, 2001).

La Tabla 1 representa la composición química de distintos tipos de trigo. El almidón está incluido en la fracción de extracto libre de nitrógeno (ELN). Aproximadamente el 80% del grano está compuesto por carbohidratos (ELN + fibra cruda) (Serna-Saldívar, 1996).

Tabla 1. Composición química proximal de los cereales.

| Trigo | Proteína (%) | Extracto etéreo (%) | Fibra cruda (%) | Cenizas (%) | *ELN (%) |
|-------------------|--------------|---------------------|-----------------|-------------|----------|
| Panadero | 14.4 | 2.3 | 2.9 | 1.9 | 78.5 |
| Suave | 9.9 | 2.8 | 2.7 | 1.7 | 82.9 |
| Cristalino | 13.2 | 2.8 | 2.8 | 2.0 | 79.2 |

Fuente: Serna-Saldívar, 1996. *Extracto libre de nitrógeno (ELN).

4.1.2 Clasificación del trigo.

La clasificación de los trigos en México para su comercialización se hace con base en la funcionalidad del gluten, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del trigo en México con base en la funcionalidad del gluten.

| Grupo | Tipo y características del gluten | Uso industrial | Características |
|-------|---|---|--|
| I | Fuerte y elástico | Industria mecánica de panificación. Se usa como mejorador de trigos suaves. | Producen harina panificable. |
| II | Medio fuerte y elástico | Industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado. Se usa como mejorador de trigos suaves. | Producen harina panificable. |
| III | Suave y extensible | Industria galletera y elaboración de tortillas y frituras | No producen Harina panificables por si solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes y semi-fuertes. |
| IV | Corto y tenaz | Industria pastelera y elaboración de galletas | No producen Harina panificables por si solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes |
| V | Tenaz, corto y cristalino con contenido de caroteno | Industria de pastas, espaguetis y macarrones. | No es panificable. |

Fuente: Serna-Saldívar, 1996 y Servicios de comercialización agropecuaria. (ASERCA).

El trigo que más se cultiva es el harinero-suave o blando (*Triticumaestivum*) del grupo 3; el segundo lugar lo ocupa el cristalino (*Triticumdurum*) del grupo 5; y en menor proporción se siembra el harinero-duro (*Triticumaestivum*) del grupo 1 y 2. (Peña y col, 2007)

4.1.3 Producción en México.

El trigo se cultiva en más de 20 estados de la República Mexicana (Figura 2). Sin embargo, el 80% de la producción se genera en la zona norte (principalmente en el noroeste) y en Guanajuato en el ciclo otoño-invierno bajo condiciones de riego; el resto se genera en su mayoría, en regiones del centro y el altiplano central en el ciclo de primavera-verano en condiciones de temporal.

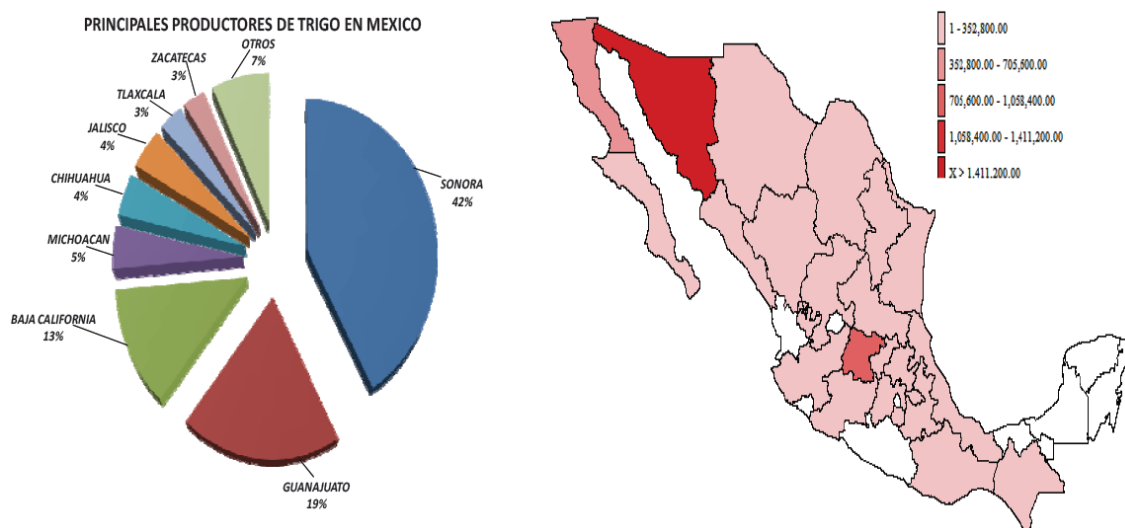


Figura 2. Producción de trigo en México

Fuente: ASERCA., con cifras tomadas del sistema de información de consulta (SIACON) ciclo 2008.

Sonora es el principal estado productor y su contribución en la producción durante 2008 se ubicó en 41.9%; seguido por Guanajuato que contribuyó con el 19.2% y Baja California con el 12.7% en promedio anual.

En el estado de Sonora, en función de las características del suelo y clima de la región, la mayor parte del trigo que se obtiene es de trigo cristalino (*Triticumdurum*).

4.1.4 Trigocristalino (*Triticum durum*)

La especie de trigo *Triticum durum* (Figura 3) es un cereal común conocido también como trigo cristalino (en México), siciliano, semolero o fanfarrón. Pertenece a los tetraploides debido a su conformación por 28 cromosomas. (Kill y Turnbull, 2004). Esta variedad de trigo tiene atributos que lo caracterizan:

- Un mayor contenido de amilopectina en el almidón, que le da ese aspecto vítreo o translúcido, y
- Mayor contenido de pigmentos carotenoides que, aunados al aspecto cristalino, lo hacen amarillo.

Es una de las especies de trigo con más alto valor nutritivo, ya que tiene un alto contenido de gluten tenaz pero poco elástico y está conformado de un 12 a 14% de proteína. Es una especie muy resistente a la sequía. Generalmente produce sémola de color amarillo (alta en carotenoides) o ámbar. (Serna-Saldívar, 1996).

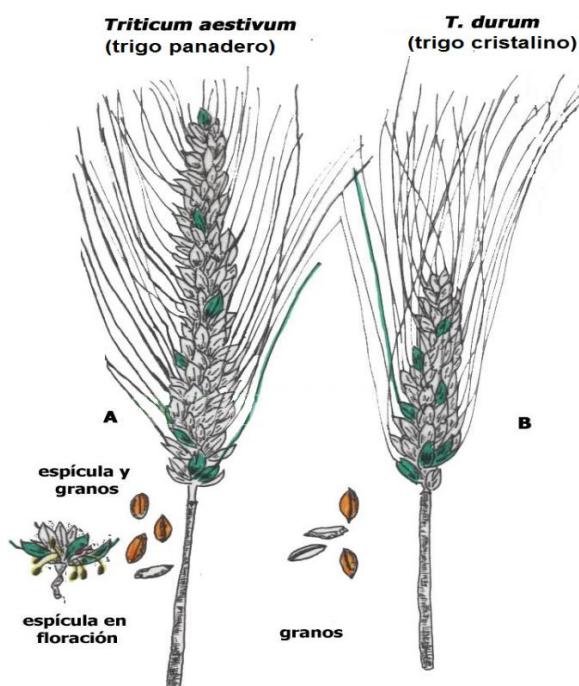


Figura 3. Trigo panadero y cristalino.

A: *Triticum aestivum* y B: *Triticum durum*.

4.1.5 Sémola

La sémola se obtiene moliendo el endospermo del trigo cristalino, la cual presenta el color amarillo natural del grano (Figura 4). Generalmente, las partículas de sémola quedan dentro de los márgenes de tamaño 488-142 μm (atravesaría el tamiz número 40 de alambre y no pasa el número 9 de nylon) y preferiblemente entre 300 y 200 μm . (Serna-Saldívar, 2003).

Las sémolas finas y la harina absorben el agua rápidamente y son fáciles de procesar, obteniendo una masa homogénea. Si se mezclan sémolas groseras y finas, las partículas pequeñas absorben el agua mucho más rápidamente que las groseras. Esto impediría obtener una mezcla homogénea. El resultado sería la obtención de manchas blancas en el producto final. Para eliminarlas la acción del amasado tendría que ser más intensa, generando más calor lo cual afectaría la calidad culinaria del producto final (Orea, 1999). Finalmente, uno de los factores determinantes para obtener un producto de excelente calidad, es utilizar sémola de trigos cristalinos (Fabriani y Lintas, 1998).



Figura 4. Harina y Sémola de trigo.

4.2 Pastas Alimenticias.

Pasta alimenticia es aquel producto obtenido por la desecación de las figuras resultado de la extrusión de una masa elaborada de harina y/o sémola de trigo *durum* con agua potable fría o caliente, con o sin la adición de otros ingredientes opcionales como pueden ser; huevo entero, gluten, soya, etc., o los sustitutos de estos permitidos por las autoridades sanitarias. (Fabriani, 1988).

4.2.1 Clasificación de las pastas alimenticias.

La pasta puede clasificarse, de acuerdo a muchos criterios, como son la humedad final en pasta fresca (Humedad final (Hf) $\geq 24\%$), pasta estabilizada ($24\% < Hf \leq 20\%$) y pasta seca ($Hf \leq 12,5\%$), según sus ingredientes utilizados (pasta al huevo, pasta rellena, pasta libre gluten, pasta especial, etc.) según el procesamiento, como pasta extruida o laminada; según la forma como larga o corta, etc. (Pagani et al., 2007).

4.2.1.1 Clasificación general.

De acuerdo con Gil (2010), pueden clasificarse las pastas alimenticias en simples, compuestas, rellenas y frescas como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación general de las pastas alimenticias.

| Pastas alimenticias | Definición |
|----------------------------|--|
| Simple | Elaboradas con sémolas o harinas procedentes de trigo duro, semiduro, blando o sus mezclas y agua potable. |
| Compuestas | Aquellas a las que se ha incorporado alguna de las siguiente sustancias: gluten, soja, huevos, leche, hortalizas, verduras y leguminosas, bien naturales, desecadas o conservadas, jugos y extractos. |
| Rellenas | Pastas que contengan en su interior un preparado necesariamente elaborado con todas o algunas de las siguientes sustancias: carne de animales de abasto, grasas animales y vegetales, productos de la pesca, pan rallado, verduras, hortalizas, huevos y agentes aromáticos autorizados. |
| Frescas | Cualquiera de las elaboradas de acuerdo con lo establecido anteriormente, pero que no han sufrido proceso de desecación. |

Fuente: Gil, 2010.

4.2.1.2 Clasificación según su forma.

Las pastas se pueden clasificar de acuerdo con su forma según se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación según su forma.

| Tipo | Huecas/compactas | Ejemplo | Descripción |
|-----------------|-------------------------|----------------|--|
| Largas | Huecas | Ziti | Alargado lizo y hueco |
| | Compactas | Espagueti | Alargado y con sección circular |
| | | Tallarín | Alargado y plano de 7-8 mm de ancho |
| | | Fettuccine | Alargado y plano de 6 mm de ancho |
| | | Lasagna | Lamina en forma de rectángulo |
| | | Linguine | Alargado y plano de 3 mm de ancho |
| Cortas | Huecas | Codo | Con forma tubular y semicircular |
| | | Penne | Tubo corto y de corte sesgado |
| | | Concha | En forma de concha de mar |
| | Compactas | Farfalle | En forma de mariposa y bordes dentados |
| | | Munición | En forma de una pequeña bola |
| | | Fusilli | Hélice o forma de tornillo de Arquímedes |
| Fantasía | Hongo, almeja y corbata | | |

Fuente: Escamilla, 2001.

4.2.2 Características de pastas.

La pasta no cocinada debe ser de color amarillo uniforme, ya que la aceptación por el consumidor está muy relacionada con un tono amarillo translúcido y uniforme también debe ser fuerte mecánicamente, de manera que conserve su tamaño y forma durante el empaquetamiento y transporte.(Camacho y Col, 2004).

Durante el cocinado en agua hirviendo el producto debe mantener su forma y no abrirse o desmoronarse. Una buena pasta absorbe por lo menos el doble de su peso en agua, y debe hincharse de tres a cuatro veces su volumen original. Además la pasta cocinada debe quedar firme al mordisco y la superficie no debe

ser pegajosa. El agua de cocción debe quedar libre de almidón. Finalmente la pasta debe ser resistente a la cocción excesiva. (Escamilla, 2001).

4.2.3 Pastas desde el punto de vista nutricional.

La pasta por ser un alimento elaborado a base de harina de trigo, tiene un elevado contenido en carbohidratos, 100 g de pasta contienen como máximo 75 g de hidratos de carbono. Estos carbohidratos proporcionan aproximadamente unas 370 Kcal, lo que representa aproximadamente el 15 % de las necesidades de una persona que desarrolle una actividad normal con algo de ejercicio físico. (Torres y Col, 2009). El aporte de grasas es muy bajo, además no contiene colesterol sino grasas vegetales y en cantidades muy pequeñas (100 gramos de pasta contienen menos de 1 gramo de grasa).

El aporte de vitaminas y minerales es relativamente bajo, excepto que estas hayan sido enriquecidas. Esto se debe fundamentalmente a que en la elaboración se utiliza el endospermo (parte intermedia de los granos rico en gluten y almidón), quedando los minerales en las capas externas del grano. Aun así, la pasta contiene vitaminas del grupo E y B, que son considerados antioxidantes celulares. (Monroy y col, 2008).

La pasta aporta también un porcentaje aceptable de fibra vegetal, (sobre todo las pastas integrales), lo que favorece el funcionamiento gastrointestinal y ayuda a metabolizar el colesterol y los triglicéridos. (Tudorica Kuri y Brennan, 2002).

4.3 Fibra dietética.

La American Association of Cereal Chemist (2001) define: “la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta.

Desde el punto de vista nutricional, y en sentido estricto, la fibra alimentaria no es un nutriente, ya que no participa directamente en procesos metabólicos

básicos del organismo. No obstante, la fibra alimentaria desempeña funciones fisiológicas sumamente importantes como estimular la peristalsis intestinal. La razón por la que el organismo humano no puede procesarla se debe a que el aparato digestivo no dispone de las enzimas que pueden hidrolizarla (Soto-Azurduy, 2010).

No existe una definición universal ni tampoco un método analítico que mida todos los componentes alimentarios que ejercen los efectos fisiológicos de la fibra. (Escudero y González ,2007).Según Rojas Hidalgo, “la fibra no es una sustancia, sino un concepto, más aun, una serie de conceptos diferentes en la mente del botánico, químico, fisiólogo, nutriólogo o gastroenterólogo”.

La fibra se ha definido como los carbohidratos y lignina, que resisten a la hidrólisis de enzimas digestivas humanas y que son fermentados por la microflora colónica y/o excretados por las heces (García y col., 2002). Otros autores incluyen más componentes a la definición como Nelson (2002) que indica que la fibra incluye a componentes asociados como los polifenoles. Algunos otros añaden el concepto de fibra funcional que incluye otros hidratos de carbono absorbibles como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa. (Escudero y González ,2007).

4.3.1 Tipos de fibra dietética.

La fibra alimentaria, tradicionalmente considerada como un carbohidrato complejo, se ha dividido en dos grupos principales según sus características químicas y sus efectos en el organismo humano. Esta clasificación es arbitraria y tan solo se basa en la separación química manteniendo unas condiciones controladas de pH y de enzimas que intentan simular las condiciones fisiológicas. Se obtienen así dos fracciones: fibra insoluble y fibra soluble. (Valencia y Román. 2004).

4.3.1.1 La fibra insoluble

Está integrada por sustancias (celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente) que retienen poca agua y se hinchan poco. Este tipo de fibra predomina en alimentos como el salvado de trigo, granos enteros, algunas verduras y en general en todos los cereales. Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino. Su principal efecto en el organismo es el de limpiar, como un cepillo natural, las paredes del intestino desprendiendo los desechos adheridos a ésta; además de aumentar el volumen de las heces y disminuir su consistencia y su tiempo de tránsito a través del tubo digestivo. Como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones y previene el estreñimiento. (Beristain y Col, 2006).

4.3.1.2 La fibra soluble

Está formada por componentes (inulina, pectinas, gomas y fructooligosacáridos) que captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos. Es muy fermentable por los microorganismos intestinales, por lo que produce gran cantidad de gas en el intestino. Al ser muy fermentable favorece la creación de flora bacteriana que compone 1/3 del volumen fecal, por lo que este tipo de fibra también aumenta el volumen de las heces y disminuye su consistencia. Este tipo de fibra predomina en las legumbres, en los cereales (avena y cebada) y en algunas frutas. La fibra soluble, además de captar agua, es capaz de disminuir y ralentizar la absorción de grasas y azúcares de los alimentos (índice glucémico), lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre. (Cabo-Soler, 2007).

4.3.2 Polidextrosa.

La Polidextrosa fue originalmente desarrollada en los 70's por científicos de Pfizer. El objetivo fue desarrollar un ingrediente que podría ser usado en conjunción con edulcorantes intensos para remplazar totalmente hidratos de carbono en alimentos procesados. Actualmente la polidextrosa es elaborada por

DuPont™ Danisco® bajo los nombres de la marca Litesse® y Litesse® Ultra™. (Stowell, 2009)

Investigación científica sobre la povidexosa muestran un gran número de beneficios fisiológicos que han sido bien documentados, como:

- Beneficios en salud oral: la povidexosa ha demostrado ser no cariogénica.
- Propiedades de fibra Dietaria
- Reduce el impacto glucémico: La povidexosa se puede utilizar para reemplazar los hidratos de carbono glucémicos para reducir la respuesta glucémica a los alimentos en general y las dietas
- Propiedades prebióticas.

La Povidexosa es un polvo amorfo, no cristalino obtenido por la polimerización térmica de D-glucosa, sorbitol y ácido cítrico, aporta 1kcal/g, Es una sustancia estable ante extremadas temperaturas y pH ,funde entre 135- 140°C. Por su composición química, algunas de las propiedades funcionales que aporta en los alimentos son: cuerpo, textura y favorece las reacciones de Maillard(Valencia y col., 2008). Su estructura se representa en la Figura 5.

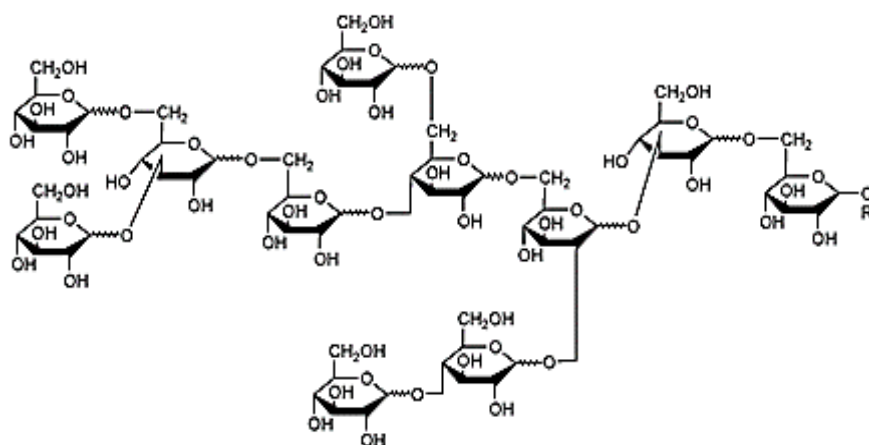


Figura 5. Representación de la estructura de la povidexosa.

Nota: R=H, sorbitol, puente con sorbitol o más povidexosa.

Por si misma la povidexosa tiene una insignificante respuesta glucémica e insulinica. Las tablas internacionales de valores de índice Glucémico y carga glucémica muestran a litesse (povidexosa elaborada por DuPont™, Danisco®) con 7 ± 2 y 4 ± 2 IG (contra glucosa IG=100) para Litesse y Litesse Ultra

respectivamente. En adición a esto la povidexosa ha mostrado ser un atenuador de glucosa plasmática. Jie (2000) reportó que 12 gramos de povidexosa disminuye el índice glucémico de glucosa de 100 a 88. Además se ha demostrado que esa misma cantidad de povidexosa mejora la función intestinal (Cherbut y col, 1994).

4.3.3 Fibra de maíz.

Nutriose® fm10 es una dextrina resistente, soluble y con alto contenido de fibra dietaria. Fabricado con almidón de maíz por la empresa francesa Roquette usando un proceso altamente controlado de dextrinización seguido de una cromatografía fraccionada (Lefranc-Millot y col., 2009).

Durante el proceso de dextrinización, se producen hidrólisis y re-polimerización. La re-polimerización crea nuevos enlaces glucosídicos, además de los típicos del almidón α -1,4 y β -1,6. Estos incluyen enlaces lineales y ramificados no digeribles, por ejemplo enlaces lineales y/o ramificados α -1,6 y/o β -1,6 α -1,2 y/o, β -1,2; β -1,4; α -1,3 y/o β -1,3. (Tabla 6, Fu y col. 2008).

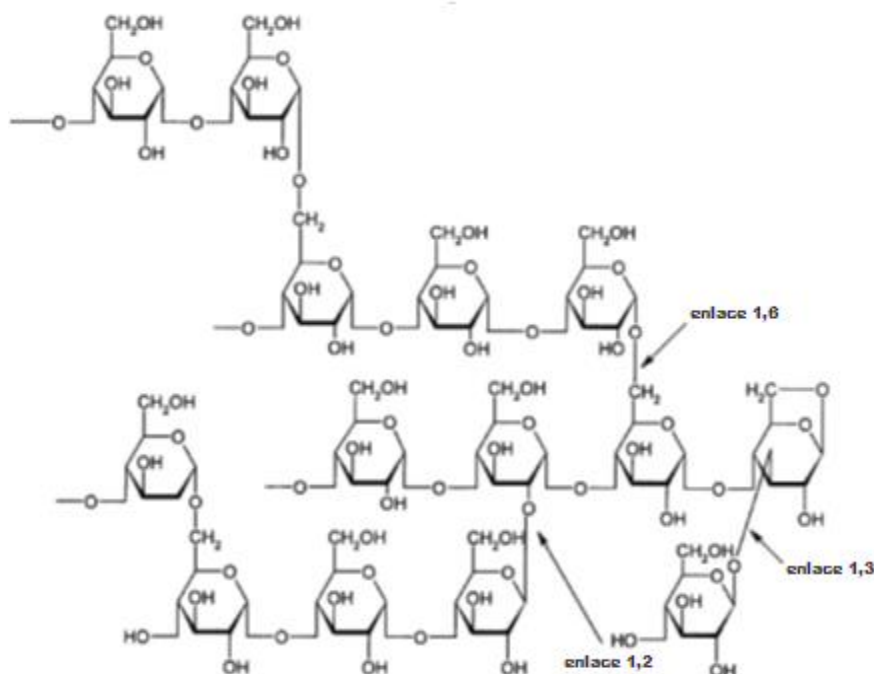


Figura 6. Estructura de la dextrina resistente Nutriose® fm10

Este ingrediente permite mantener el contenido de agua en los alimentos mejorando además el resultado de su cocinado y de los costos, a la vez que reduce el contenido de sodio y las calorías totales del producto. Mantiene hasta 30 veces su peso en agua, y además mejora sabor y textura. (Lefranc-Millot y col., 2009).

4.3.4 Fibra de chícharo amarillo.

La fibra de chícharo amarillo I50 M es un polvo blanco homogéneo de sabor neutro, el cual se compone de fibra dietética insoluble (50%), almidón nativo (35%), proteína (10%) y de otros ingredientes (5%). Es fabricado por la empresa Roquette usando un proceso totalmente físico y sin emplear solventes, por lo que se considera de origen natural. Es un producto altamente funcional que tiene la capacidad de formar geles y emulsiones estables. Tiene un impacto mínimo en color y sabor. Posee una amplia gama de aplicaciones, como emulsificante en productos cárnicos, sustituto parcial o total de concentrados de proteína, elaboración de aderezos, mayonesas, salsas, sopas, productos de panificación, etc. (RoquetteFrères, 2009)

Otra ventaja de la fibra de chícharo es que puede usarse en altas concentraciones, sin afectar las características organolépticas de producto. Además de brindar beneficios a la salud, la fibra de chícharo ofrece la ventaja de optimiza costos, debido a su alta capacidad de retención de agua y excelentes propiedades emulsificantes. Estas propiedades permite reducir los niveles de ingredientes más costosos como la carne y/o grasa o emulsificantes (por ejemplo; caseinatos, proteínas de suero) sin sacrificar el sabor, color y textura de los productos. (Anderson y Berry, 2006).

La fibra de chícharo amarillo I50M posee las siguientes características:

- Propiedades emulsionantes: La fracción de proteína de la fibra de chícharo hace que sea posible estabilizar emulsiones.
- Poder gelificante después del calentamiento: La temperatura de gelificación es baja (69 °C), la fracción de almidón de la fibra de chícharo

I50M asegura la unión durante la cocción, que promueve la eficiencia y la jugosidad de los productos terminados.

- Tiene bajo impacto en la viscosidad, comparando con la fibra de trigo, la de chícharo forma geles más homogéneos y firmes.
- Puede retener 3 veces su peso en agua y 2 veces su peso en aceite.

4.4 Biodisponibilidad de carbohidratos.

La biodisponibilidad de los carbohidratos describe la utilización y los efectos biológicos de estos, ya que dependiendo de su destino en el tracto gastrointestinal, se definirá si estos son glucémicos (absorbidos en el intestino delgado y disponibles para el metabolismo) o no glucémicos (llegan al colon como sustrato para la fermentación; Englyst y Englyst, 2005).

Los carbohidratos son uno de los tres principales macronutrientes que aportan energía al cuerpo humano (los otros son la grasa y las proteínas; FAO, 1999). Como componentes presentes en los alimentos y por lo tanto base de la dieta se caracterizan por:

- Su identidad química, que está determinada por el origen botánico y en el caso de alimentos compuestos o mezcla de ingredientes usados.
- La matriz del alimento, aunada al origen botánico, está determinada por el grado de procesamiento del alimento durante su elaboración y preparación.

Estas características, junto con las propiedades fisicoquímicas del alimento, determinan ampliamente el manejo y la utilización de los carbohidratos en el tracto gastrointestinal (Figura 7; Englyst y Englyst, 2005).

La identidad química de los carbohidratos de la dieta está definida por el tipo de azúcar, los enlaces entre los azúcares y el grado de polimerización. Esta identidad determina a nivel químico, si las enzimas digestivas pueden hidrolizar a los carbohidratos y en qué forma están presentes para su metabolismo. La

clasificación de los carbohidratos de acuerdo a su biodisponibilidad se presenta en el Tabla 5.

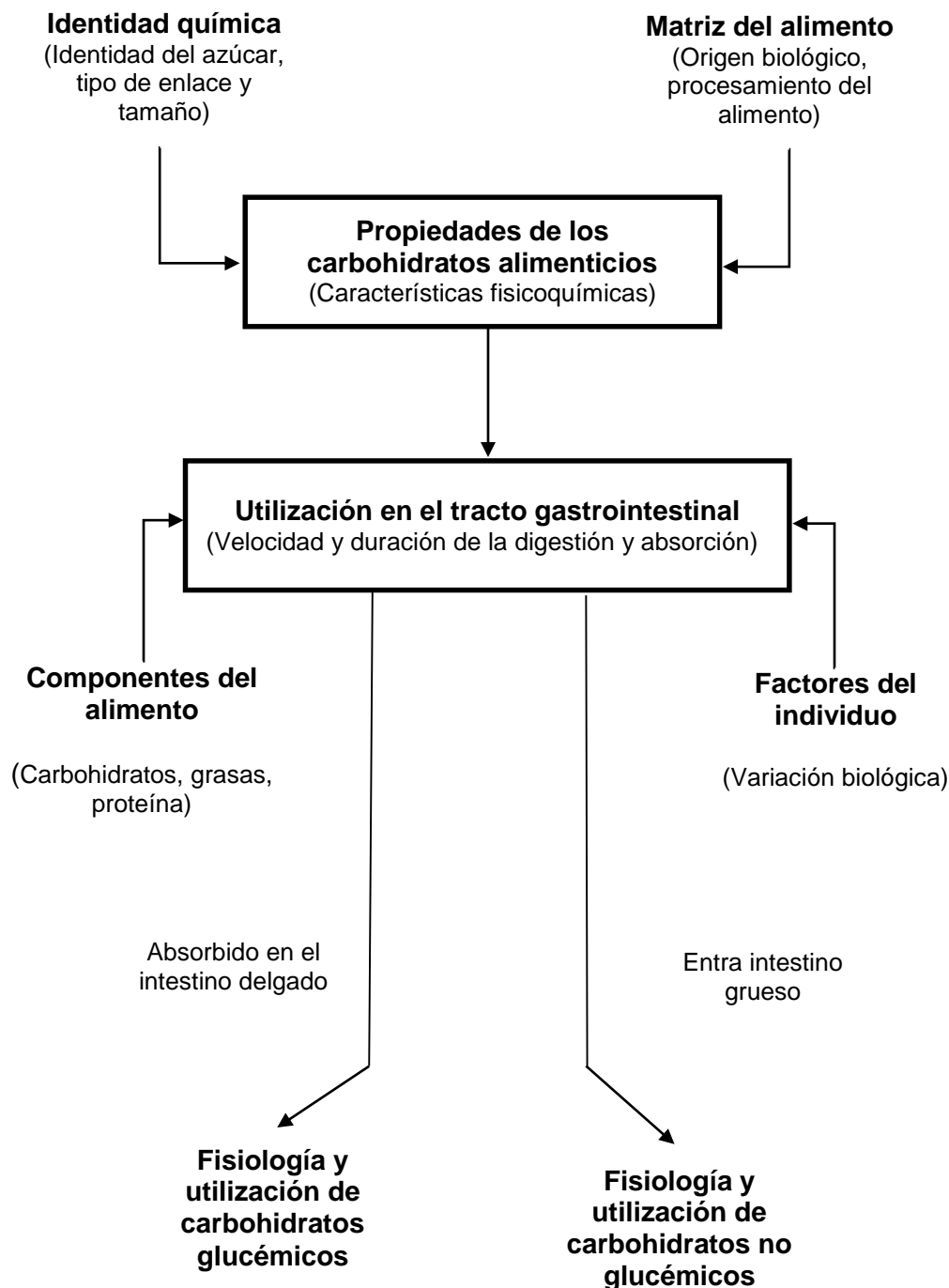


Figura 7. Factores que influyen en la biodisponibilidad de carbohidratos.

Fuente: Englyst y Englyst, 2005.

Tabla 5. Clasificación de los carbohidratos de acuerdo a su biodisponibilidad.

| Tipos de carbohidratos | Componentes químicos | Agrupación nutricional | Principal función biológica |
|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Carbohidratos glucémicos | Azúcares libres | Fructosa y azúcares libres | Metabolizado por el hígado. Posible efecto perjudicial en el metabolismo |
| | Maltodextrinas | GRL y GLL | GRL y GLL refleja la velocidad de la glucosa liberada del alimento, lo cual es factor importante para el índice glucémico |
| | Almidón | | Investigaciones sugieren que la respuesta metabólica asociada con los carbohidratos de lenta liberación (GLD) conduce más a una óptima salud |
| Carbohidratos no glucémicos | | AR | Varia la velocidad y duración de la fermentación |
| | PNA | PNA intrínsecos: como material de la pared celular en alimentos vegetales | La matriz del alimento modera la liberación de carbohidratos Señalado para una dieta alta en fibra, rica en micronutrientes |
| | | PNA adicionados | Varían la velocidad y duración de la fermentación |
| | CRCC | CRCC intrínsecos: naturales CRCC adicionados | Varían la velocidad y duración de la fermentación |
| | Azúcares alcoholes | Presentes naturalmente y adicionados | Absorbidos, pero no metabolizados. Son fermentados |

CRCC: Carbohidratos resistentes de cadena corta; GRL: Glucosa rápidamente liberada; GLL: Glucosa lentamente liberada; PNA: Polisacáridos no amiláceos; AR: Almidón resistente.

Fuente: Englyst y Englyst, 2005.

4.5 Almidón.

El almidón es una sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas y proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos disponibles de la dieta habitual (Fennema, 2000). Los polímeros de almidón forman gránulos concéntricos dentro de los granos de almacenamiento, por lo tanto exhiben birrefringencia cuando se observan bajo la luz polarizada (Figura 8) (Serna-Saldívar, 1996). La disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón en un gránulo resulta evidente al observar la cruz de polarización. El centro de la cruz corresponde con el hilum, el centro de crecimiento del gránulo. (Fennema, 2000).

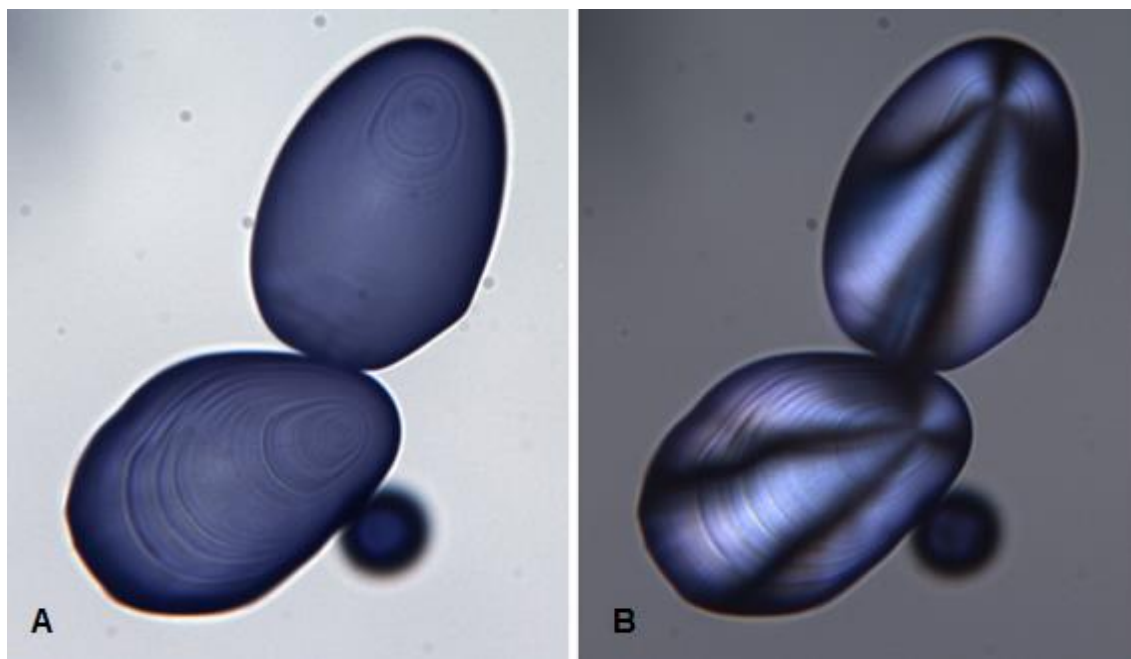


Figura 8. Gránulos de almidón de papa.

Gránulo de almidón con tinción de yodo, A sobre luz normal y B sobre luz polarizada. Obsérvese que en el campo de luz polarizada se muestra la típica cruz malta o birrefringencia que caracteriza a los gránulos de almidón. Fuente: Archaeobotany-Wiki, 2009.

Los gránulos de almidón del trigo son de forma lenticular, y tienen una distribución de tamaño bi- o trimodales ($>14\mu$, $5-14\mu\text{m}$, $1-5\mu\text{m}$). Los gránulos de almidón de papa pueden llegar a alcanzar a medir hasta $100\mu\text{m}$ de longitud en el eje mayor. (Fennema, 2000).

4.5.1 Estructura química del almidón.

Las moléculas de almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos α 1-4 y α 1-6. (Sajilata y col., 2006). Está conformado por moléculas de amilopectina y amilosa. En la mayoría de los cereales contiene aproximadamente 75% de amilopectina y 25% de amilosa. (Fennema, 2000).

4.5.1.1 Amilosa.

La amilosa está conformada exclusivamente por cadenas lineales de glucosa unidas por enlaces α 1-4 (figura 9), aunque existen también moléculas que poseen unas pocas ramificaciones en posición α 1-6, alrededor de una cada 180-320 unidades, o a lo que es lo mismo, el 0.3-0.5% de los enlaces. Las moléculas de la amilosa tienen pesos moleculares de alrededor de 10^6 . (Fennema, 2000).

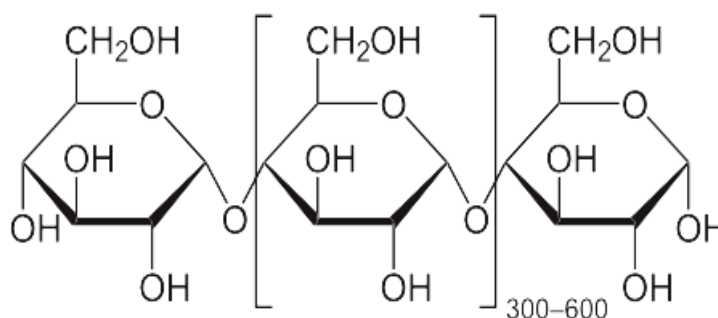


Figura 9. Estructura química de la amilosa.

Fuente: Serna-Saldívar, 1996.

4.5.1.2 Amilopectina.

Está formado por cadenas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α 1-4 así como por ramificaciones que ocurren cuando el enlace es α 1-6. Solamente el 4 a 5% del total de los enlaces es α 1-6 (Figura 10). Estos polímeros de glucosa tienen un peso molecular de 10^8 (600 000 unidades de glucosa por molécula de amilopectina) y estructuralmente se dividen en cadenas de tipo A, B, C. (Serna-Saldívar, 1996).

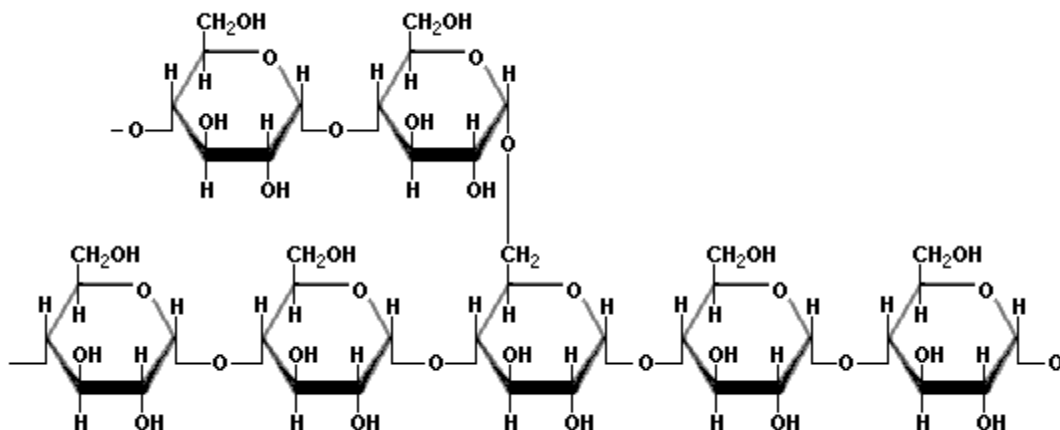


Figura 10. Estructura química de la amilopectina.

Fuente: Serna-Saldívar, 1996.

4.5.2 Digestibilidad del almidón.

El almidón es uno de los principales carbohidratos digeribles en la dieta (Ao y col., 2007), y contribuye con el 60-70% de los carbohidratos “disponibles” o “glucémicos”, estos se definen como “la fracción del almidón digerida por las enzimas digestivas humanas en el tracto gastrointestinal y absorbida al torrente sanguíneo (principalmente como glucosa)” (Slaughter y col., 2001).

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

4.6 Índice glucémico.

4.6.1 Origen.

El IG fue concebido y comunicado (Jenkins y col., 1981) en la Universidad de Toronto, Canadá, como una herramienta para el manejo dietético de la Diabetes Mellitus (Artega, 2006). Al analizar el tratamiento dietético de pacientes diabéticos, el Dr. Jenkins observó que consistía en la administración de dosis cuantificadas de hidratos de carbono distribuidos a lo largo del día. El Dr. Jenkins investigó si las diferencias en cuanto al tipo de hidrato de carbono (monosacáridos, disacáridos y polisacáridos) predominante en cada alimento, tendría los mismos efectos fisiológicos en los pacientes (Jenkins y col., 1981), ya que anteriormente se pensaba que los alimentos con predominio de hidratos de carbono simples (mono y disacáridos), inducían un incremento de la glucemia más rápido y mayor, en comparación con los que tenían predominio de hidratos de carbono complejos (polisacáridos).

En la Tabla 6 se muestra que estas creencias quedaron atrás con el surgimiento del IG, ya que el arroz blanco o la papa, presentan una mayor proporción de hidratos de carbono complejos y tienen un IG alto; mientras que la fructosa y la lactosa que son hidratos de carbono simples, tienen un IG bajo.

Tabla 6. I.G. de alimentos con hidratos de carbono complejos y simples.

| Hidratos de carbono | IG bajo (0-55) | IG alto (≥70) |
|---------------------|--|---------------------------------------|
| Complejos | All Bran kellog's Frijoles | Hojuelas de Maíz Arroz Blanco |
| Simplees | Fructosa Lactosa Manzana Yogurt | Glucosa Maltosa Dátiles Miel |

Fuente: Noriega, 2004.

El Dr. Jenkins realizó pruebas para determinar la respuesta glucémica trabajando con grupos de 5 a 10 voluntarios, a quienes les dio uno de 62 alimentos de forma aleatoria y se vigilaron sus niveles de glucosa; los resultados se compararon con las respuestas glucémicas del alimento referencia, empleando solución de glucosa, con el mismo contenido de hidratos de carbono que el alimento prueba (Jenkins y col., 1981). Las conclusiones a las que llegaron es que el origen químico de los hidratos de carbono (monosacáridos, disacáridos y polisacáridos) contenidos en los alimentos, no predice los efectos fisiológicos; así, 30 gramos de hidratos de carbono que contiene el pan, pueden no tener la misma respuesta de 30 gramos de hidratos de carbono contenidos en fruta o pasta (Jenkins y col., 1981); es decir, no existe relación entre la respuesta glucémica y la proporción de hidratos de carbono simples o complejos que contiene el alimento.

4.6.2 Definición.

El IG permite establecer el impacto en la respuesta glucémica provocada por el consumo de los hidratos de carbono de un alimento determinado (Wolever, 2006; Gattas y col., 2007); de esta manera, cada alimento tiene un IG propio. El IG se clasifica con valores numéricos y está agrupado en tres categorías: IG alto ≥ 70 , IG medio 56-69 e IG bajo ≤ 55 (Wolever y col., 2008), dependiendo del impacto que se obtenga en los niveles de glucosa posteriores al consumo del alimento en cuestión.

Para conocer el IG de un alimento, es necesario compararlo con un alimento referencia con el que tendrá que tener el mismo contenido de hidratos de carbono. Los alimentos referencia más empleados son el pan blanco (IG = 71) y la solución de glucosa (IG = 100), siendo la solución de glucosa la más recomendada para la medición del IG; mientras que el pan blanco se prefiere cuando se pretende medir el índice insulinémico, debido a que ofrece respuestas más marcadas en la secreción de insulina (Arteaga, 2006).

4.6.3 Métodos para medir el I.G.

El concepto de IG fue creado originalmente para clasificar a los alimentos ricos en hidratos de carbono, de acuerdo a la glucemia postprandial que provocaban en los individuos que los consumían (Jenkins y col., 1981). En un principio los alimentos a los que se les media el IG eran aquellos cuyo contenido de energía proveniente de hidratos de carbono era igual o mayor al 80 %, ya que estos liberaban azúcares para que fueran absorbidos en el intestino delgado y reflejaran una respuesta glucémica en la sangre (Brouns y col., 2005). Estos estudios se realizaron en personas y consideraron que los alimentos que mostraron respuestas glucémicas rápidas y elevadas eran digeridos y absorbidos de manera acelerada, con esto fue posible crear métodos *in vitro* que imitaban los procesos de digestión y absorción, usando enzimas pancreáticas e intestinales (Granfeldt y col., 2006; Englyst y col., 2003; Goñi y col. 1997), cuyos resultados mostraron una alta correlación con los medidos en individuos.

Tabla 7. Método *in vivo* e *in vitro*.

| Método | Descripción | Autores |
|-----------------|--|--|
| In vivo | Se realiza con seres humanos | Jenkins y col. 1981 |
| In vitro | Métodos que emulan los procesos de digestión y absorción, usando enzimas pancreáticas e intestinales | Granfeldt, 1994 Goñi y col. 1997 Giacco y col., 2001 |

4.6.4 Factores que modifican el I.G. de los alimentos.

El IG es el resultado de una serie de factores físicos y químicos que pueden ser intrínsecos y extrínsecos, que interactúan en el alimento; entre ellos destacan: las técnicas de procesamiento, o culinarias (calor, agua y tiempo de preparación), proporción de componentes del almidón (amilosa y amilopectina), contenido de fibra y tipo de hidratos de carbono (Tabla 8; Arteaga, 2006).

Tabla 8. Factores que modifican el I.G. de los alimentos

| Factor | Mecanismo | Efecto |
|--|--|--|
| Composición del almidón | La amilosa está formada por cadenas lineales de glucosa, mientras la amilopectina es ramificada y por lo tanto más susceptible al ataque enzimático. | A mayor contenido de amilosa, menor IG y a mayor contenido de amilopectina, mayor IG. |
| Gelatinización del almidón | El almidón gelatinizado presenta mayor superficie de ataque enzimático y aumenta la digestibilidad del almidón. | Entre más gelatinizado sea el almidón, mayor será su IG. |
| Fibra soluble | La fibra soluble aumenta el volumen (viscosidad) del contenido gástrico, lo cual disminuye el tránsito y el ataque enzimático. | Entre más fibra tenga el alimento, más bajo será su IG. |
| Fibra insoluble | Esta fibra actúa como barrera contra el ataque enzimático. | A mayor contenido de fibra insoluble, menor IG. |
| Interacción proteína-almidón | Durante el cocimiento de los alimentos, la proteína y el almidón se asocian, formando una matriz proteica que reduce el ataque enzimático. | A mayor contenido de proteínas de un alimento rico en hidratos de carbono, menor será su IG. |
| Interacción grasa-almidón | Una parte de la grasa del alimento forma complejos con el almidón, lo cual reduce el ataque enzimático. | A mayor contenido de grasa de un alimento rico en hidratos de carbono, menor será su IG. |
| pH del alimento | Los alimentos con un pH menor, disminuyen el vaciamiento gástrico. | Entre más bajo sea el pH de un alimento, menor será su IG. |
| Contenido de azúcar (sacarosa) del alimento | La mitad del contenido del azúcar es fructosa, la cual se absorbe muy lentamente (IG =20). | A mayor contenido de azúcar de un alimento rico en almidón, menor será su IG. |
| Procesamiento del alimento. | Entre más procesado esté el alimento, será más susceptible al ataque enzimático. | Entre más procesado sea el alimento, mayor será su IG. |

Fuente: Noriega, 2004.

5 Materiales y Métodos.

El diagrama experimental de trabajo (Figura 11) consistió en la elaboración de pastas, sustituyendo a la sémola de trigo *durum* por las fibras de chícharo, maíz y polidextrosa en diferentes porcentajes. Se realizaron pruebas fisicoquímicas, a la pasta cruda. Para las demás pruebas las pastas fueron cocidas.

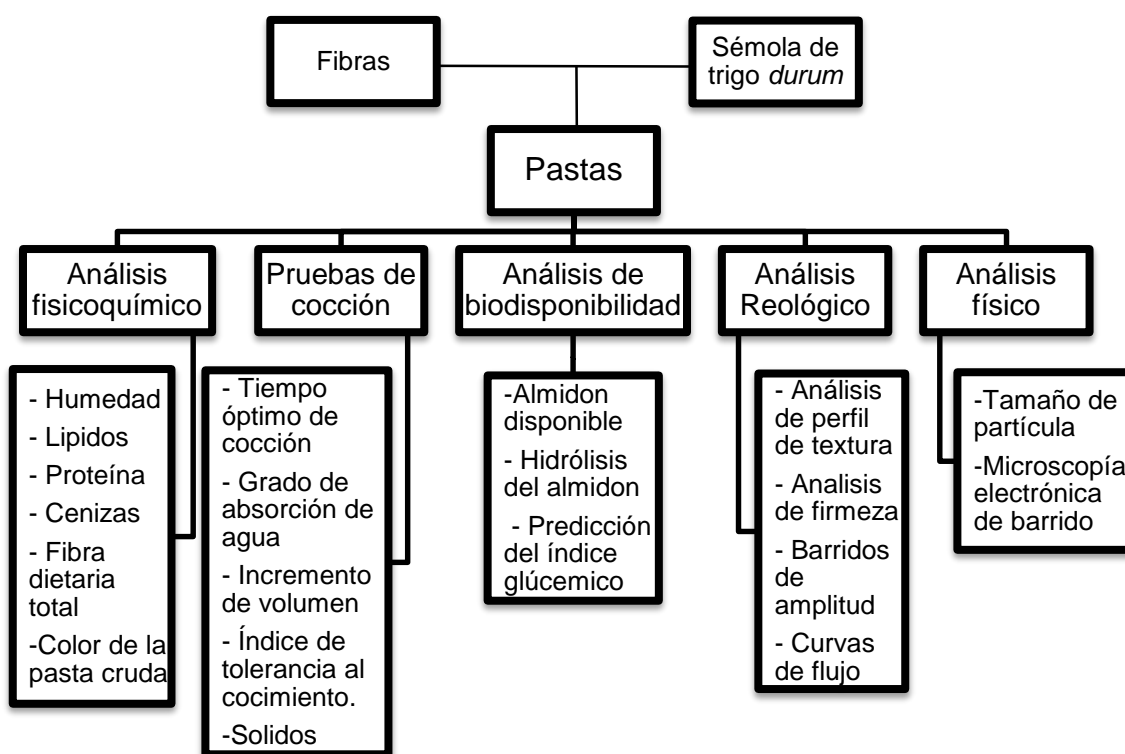


Figura 11. Diagrama experimental de trabajo.

5.1 Materiales.

Las pastas fueron elaboradas usando sémola de trigo *durum* comercial (Flor y vida®, Soyita Cereal S.A. de C.V.), agua, colorante amarillo huevo (Deiman®), y las diferentes tipos de fibra: fibra de chícharo (I 50M, Roquette), fibra de maíz (Nutriose® fm10, Roquette) y povidex (Litesse Ultra®, DuPont™, Danisco®).

5.2 Métodos.

5.2.1 Elaboración de la pasta.

Se elaboró una pasta control con sémola de trigo *durum* al 100% y pastas sustituyendo sémola por fibra al 6, 7.3, 9.3 y 18%.

Para la elaboración de las pastas se tamizó la sémola eliminando la fracción más gruesa y sólo se utilizó lo que pasó el tamiz 40 (0.038mm).

La fibra y el colorante (0.005% p/p) se hidrataron 10 min en agua (50% en base al peso seco de la muestra). Los componentes eran mezclados a mano y con ayuda de una pala de madera por 5 min obteniendo una mezcla homogénea, la cual se dejaba reposar en un bol cubierto con un trapo durante 10 min. Posteriormente la pasta se laminó 10 veces y se cortaron tiras tipo fettuccine (6mm ancho y 25 cm largo) con una máquina de pastas (Maker®). Finalmente las pastas fueron secadas en un horno con rampas de temperatura de 42°C/3h; 32°C/4h y 24°C/17h, con una humedad final del producto entre 7-10% (ver Figura 12) y almacenadas en bolsas de celofán para posteriores estudios.



Figura 12. Elaboración de la pasta.

5.2.2 Análisis fisicoquímico.

La determinación del análisis fisicoquímico se realizó en muestras de fettuccine crudo, molido.

5.2.2.1 Humedad

Se determinó por el método oficial 44-19, de la AACC (2000). Se pesó 1.0 g de muestra en charolas de aluminio (puestas previamente a peso constante), se colocaron en la estufa a 100 ± 1 °C durante 3 h, posteriormente se enfriaron en un desecador por 20 min. Finalmente se pesaron y se determinó la humedad por diferencia de peso con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{\text{Peso muestra}(g) - (\text{Peso final}(g) - \text{Peso charola}(g))}{\text{Peso de la muestra}(g)} \right) \times 100$$

5.2.2.2 Lípidos

Se utilizó el método oficial 920.39 de la AOAC (2000). Se pesaron 3 g de muestra seca en cartuchos de celulosa. Se colocaron en un equipo de extracción Soxhlet figura 13, se adicionaron 100 ml de hexano a los vasos del equipo y posteriormente se realizó la extracción por 4 h a una velocidad de 5-6 gotas /s. Finalmente, los vasos se secaron en la estufa a 100 ± 1 °C por 30 min y se pesaron para determinar el porcentaje de lípidos con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Lipidos} = \frac{\text{Peso final del vaso}(g) - \text{peso inicial del vaso}(g)}{\text{Peso de la muestra en base seca}(g)} \times 100$$



Figura 13. Equipo Glas-Col® combo con 6 mantillas de calentamiento.

5.2.2.3 Proteína

La determinación de proteínas se realizó en muestras de fettuccine molidos. Estas se cuantificaron con el método oficial 960.52 de la AOAC (2000). El porcentaje de proteínas se determinó indirectamente por la cuantificación de nitrógeno total utilizando el método Kjeldahl. Se pesó 0.5 g de muestra y se pasó a un tubo Kjendahl, al cual se le agregó 5g de mezcla digestora y 15 mL de ácido sulfúrico concentrado. Este se colocó en el digestor (figura14) y se calentó durante 1 hora hasta que el contenido del tubo presentó un color verde claro. El tubo se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se le adicionaron 20 mL de agua para lavar los residuos que quedaron en la pared del tubo, posteriormente se adicionaron 50 mL de hidróxido de sodio al 40%. Por otro lado, en un matraz Erlenmeyer de 100mL se añadieron 50 mL de ácido bórico al 2% y 3 gotas de indicador rojo de metilo. Se colocó el matraz Erlenmeyer de 100mL y el tubo Kjendahl en la unidad de destilación Büchi K-350 (Figura 14) y se destiló durante 5 min. La muestra obtenida se tituló con ácido clorhídrico 0.1N. Se calculó el porcentaje de proteína con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(\text{gasto de HCl al titular (ml)})(14.007)(N)}{\text{Peso de la muestra (mg)}} \times 100$$

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

Dónde:

- ✓ N: Normalidad de HCl
- ✓ F: Factor de conversión a proteína, 5.7 para cereales



Figura 14. Destilador BüchiK-350 y digestor

5.2.2.4 Ceniza

Se analizaron con el método 08-01 de la AACC (2000). Se pesó 1 g de muestra en un crisol (puesto a peso constante), se carbonizó la muestra sobre la flama de un mechero y se introdujo en la mufla a 550 ± 1 °C por 5 h. Cuando las cenizas estuvieron blancas, se enfriaron en un desecador. Finalmente se pesaron y se calculó el porcentaje de cenizas como:

$$Cenizas(\%) = \frac{\text{Peso del residuo (g)}}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}} \times 100$$

5.2.2.5 Fibra dietaría total

De acuerdo a las instrucciones del kit para la determinación de fibra dietética (Sigma-Aldrich®, 2002), se pesaron 0.5g de pasta molida en un matraz Erlenmeyer, se le añadieron 25mL de buffer fosfatos 80mM pH 6 y 0.05mL de α -amilasa (Sigma-Aldrich®), se taparon los matraces y se colocaron en baño maría con agitación a 95°C por 15 minutos. Transcurrido el tiempo se sacaron los matraces y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se le adicionaron 5mL de hidróxido de sodio 0.275N y 0.05mL de proteasa (Sigma-Aldrich®), se taparon y se incubaron en baño maría a 60°C por 30 minutos. Pasado el tiempo se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se le adicionaron 5mL de ácido clorhídrico 0.325M y 0.05mL de aminoglucosidasa

(Sigma-Aldrich®), se dejó incubar en baño maría a 60°C por 30 minutos. Trascurrido el tiempo se dejaron enfriar por completo y se procedió a colocar la muestra en un crisol puesto previamente a peso constante, Se añadió 4 volúmenes (281.2mL) de etanol al 95% a cada matraz, y se dejaron reposar toda la noche, para completar la precipitación. Se añadió a crisoles previamente puestos a peso constante una capa uniforme de celite (Sigma-Aldrich®), cubriendo toda la superficie de los crisoles. Se lavó el residuo de los matraces, agregando 60 mL de etanol al 78% y se filtraron, después se hizo un lavado con 40 mL de etanol al 95% y finalmente se lavaron los crisoles con 20 mL de acetona, se secaron los crisoles en estufa a 100°C y se registró el peso. Con los residuos se determinó proteína y cenizas.

$$\text{Peso del residuo} = W_2 - W_1$$

$$\text{Peso de la ceniza} = W_3 - W_1$$

$$B = R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}$$

$$\% \text{ FDT} = \left(\frac{R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}} - B}{SW} \right) \times 100$$

Donde:

- ✓ W_1 = Peso constante del crisol (mg).
- ✓ W_2 = Peso del crisol con muestra seca (mg).
- ✓ W_3 = Peso del crisol con muestra calcinada (mg).
- ✓ %FDT = Fibra dietaria total.
- ✓ R= Peso promedio del residuo (mg).
- ✓ P= Peso promedio de la proteína (mg).
- ✓ A = Peso promedio de la ceniza (mg).
- ✓ SW=Peso promedio de la muestra (mg).
- ✓ B=Blanco(mg)

5.2.3 Pruebas de cocción

5.2.3.1 Tiempo óptimo de cocción

Se determinó con el método 66-50 de la AACC (2000). El tiempo óptimo de cocción se estableció dispersando 25g de pasta cortada con 5cm de ancho, en 500 ml de agua hirviendo. Cada minuto se tomó una pieza de fettuccine y se comprimió entre dos placas de vidrio; el tiempo óptimo de cocción se estableció cuando desaparecieron los puntos blancos del centro del fettuccine después de la compresión.

5.2.3.2 Grado de absorción de agua.

Es la cantidad de agua absorbida durante el cocimiento. Una buena pasta absorbe por lo menos el doble de su peso en agua.

Se pesaron 25g de pasta y se cocieron de acuerdo a las condiciones establecidas en el tiempo de cocimiento. Una vez cocida la pasta se colocó en un embudo buchner, sobre una probeta de 1 L de capacidad. Se dejó escurrir la pasta por 10 min y se pesó.

$$\text{Grado de Absorción (\%)} = \frac{P_{pcd} - P_{ps}}{P_{ps}} \times 1000$$

Pps = peso de la pasta seca ó cruda (g)

Ppcd = peso de la pasta cocida y drenada (g)

5.2.3.3 Incremento de volumen.

Se determinó el volumen de 25 g de pasta cruda y cocida, colocándola en una probeta de 500 mL que contenía 250 mL de agua.

$$\text{Incremento de volumen} = \frac{\text{Volumen pasta cocida} - \text{Volumen pasta cruda}}{\text{Volumen pasta cocida}} * 100$$

5.2.3.3.1 Volumen de la pasta cruda.

Los productos de buena calidad se hinchan de tres a cuatro veces su volumen original; por lo menos deben hincharse al doble de su volumen.

Se determinó el volumen de 25g de pasta seca, colocándola en una probeta de 500 mL que contenía 250 mL de agua (V_1). Se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento del agua debido a la pasta (V_{2ps})

Se calculó el volumen de la pasta cruda de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de la pasta cruda} = V_2 \text{ pasta seca} - V_1 \text{ agua inicial}$$

5.2.3.3.2 Volumen de la pasta cocida.

Se cocieron 25 g de pasta en condiciones óptimas, y se drenaron en un embudo buchner por 10 min. Se determina el volumen de la pasta cocida y drenada, introduciéndola en una probeta de 500mL que contenía 250mLde agua (V_{1pcd})
Se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento del agua debido a la pasta cocida (V_{2pcd})

Se registra el volumen de la pasta cocida y drenada de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de la pasta cocida} = V_{2pcd} - V_{1pcd}$$

5.2.3.4 Sólidos disueltos en el agua

Se determinó de acuerdo con el método 66-50 de la AACC (2000). Se tomó el agua de cocción y se llevó a un volumen de 500 mL con agua destilada, con un agitador se mezcló durante 10 min. Se depositó 1 mL de agua de cocción en charolas de aluminio (puestas previamente a peso constante), se colocaron en la estufa a 100 ± 1 °C durante 20 h, posteriormente se enfriaron en un desecador por 20 min. Finalmente se pesaron y se determinó el contenido de los sólidos por diferencia de peso.

$$\% \text{ Sólidos} = \left(\frac{\text{Peso muestra (g)} - (\text{Peso final (g)} - \text{Peso charola (g)})}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right) \times 100$$

5.2.3.5 Índice de tolerancia al cocimiento

Es el tiempo en que la pasta empieza a romperse por efecto del cocimiento menos su tiempo de cocción. Cuanto más resistente sea la pasta, más tardará en empezar a romperse, lo que está relacionado con un gluten fuerte y por tanto con una sémola de mejor calidad. La pasta debe ser resistente al exceso de cocción.

Se cocieron 25 g de pasta en 500 mL de agua en ebullición hasta que se observaron 3 fragmentos de pasta rota y se registró el tiempo que corresponde a la desintegración de la pasta. El índice de tolerancia al cocimiento se determinó como:

$$\text{índice de tolerancia al cocimiento} = TDP - TOP$$

Dónde:

- ✓ TDP: Tiempo de desintegración de la pasta (min)
- ✓ TOP: Tiempo óptimo de cocción (min)

5.2.4 Análisis de biodisponibilidad.

La pasta se coció en agua hirviendo, de acuerdo con su tiempo óptimo de cocción; se vertió la pasta en tubos eppendorf de 50mL y se colocaron sobre hielo. Los tubos se cubrieron con parafilm y se congelaron con hielo seco. La muestra congelada se liofilizó, molió y tamizó enmalla 50 (0.028 mm). Se almacenó en bolsas de celofán a temperatura ambiente para posteriores estudios.

5.2.4.1 Almidón disponible

El contenido de almidón disponible se determinó utilizando la metodología propuesta por Holm y col. (1986). Se pesaron 500mg de muestra en un vaso de precipitado de 80mL y se agregó 20mL de agua destilada. Con ayuda de un agitador magnético y la plancha de agitación se agitó durante 10 min. Posteriormente se adicionó 100 μ L de α -amilasa termoestable (Sigma-Aldrich®), se cubrieron los vasos con papel aluminio y se incubaron en un baño de agua a temperatura de ebullición durante 20 min. Posteriormente se dejó enfriar la muestra hasta que alcanzaron una temperatura entre 30- 40 °C. El contenido de los vasos se aforó a un volumen de 100mL.

En tubos de ensaye se depositó 1 mL de regulador de acetato de sodio, 25 μ l de amiloglucosidasa (enzima-regulador 100:280 μ L, Sigma-Aldrich®) y 500 μ L de muestra (del aforado de 100 mL), se cubrieron con papel aluminio y se incubaron durante 30 min a 60°C con agitación constante. Finalmente se aforó a un volumen de 10mL. Se transfirió 1ml de reactivo glucosa oxidasaperoxidasa (GOD-PAP, ELITechGroup) y 50 μ L de muestra en tubos de ensaye e incubando en un baño de agua a 37 °C durante 10 min. Se leyeron las absorbancias a 510 nm en paralelo con una curva estándar de glucosa.

El porcentaje de almidón disponible (%AD) se obtuvo mediante la siguiente ecuación.

$$\%AD = \frac{(\mu g \text{ glucosa} / \text{mL} \times 200 \times 10 \times 0.9)}{\mu g \text{ de muestra}} \times 100$$

5.2.4.2 Hidrólisis de almidón

Para medir la digestión del almidón se utilizó el método in vitro reportado por Holm y col. (1985). A 500 mg de almidón se le añadieron 50 mL de regulador de fosfatos antes de iniciar su hidrólisis, se incubaron a 37°C con agitación constante. Antes de adicionar la enzima, se tomaron alícuotas de 0.2 mL para marcar como tiempo cero. Posteriormente se adicionó la enzima α -amilasa pancreática (Sigma-Aldrich®) y a los 5, 15, 30 y 60 min se tomaron alícuotas de 0.2 mL, los cuales se colocaron en tubos de ensayo que contenían 0.8 mL de agua destilada y 1 mL de ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS). Los tubos fueron calentados en un baño de agua en ebullición por 10 min. Se añadieron 15 mL de agua destilada realizando una buena homogenización de la mezcla. Se leyeron las absorbancias a 530 nm en paralelo con una curva estándar de maltosa. Finalmente se calculó el porcentaje de hidrólisis como el porcentaje de maltosa liberada durante la reacción.

$$\% \text{ Hidrolisis} = \frac{\text{mg de maltosa} * 0.95 * 100}{0.2 * \text{peso de la muestra}}$$

5.2.4.3 Predicción del índice glucémico

La predicción del índice glucémico (pIG) se determinó sustituyendo en la ecuación de Goñi (1997) el valor del porcentaje de hidrólisis a los 90 min;

$$\text{pIG} = 39.21 + 0.803(\%H_{90\text{min}})$$

5.2.5 Análisis reológico

Para el análisis de textura de las pastas cocidas se empleó un analizador de textura TA-XT plus (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido) Figura 15, equipado con una versión de Windows del paquete de software TextureExpert, mismo que se utilizó para hacer tres análisis diferentes de textura: (1) análisis de perfil de textura (APT) que consiste en dureza, adherencia, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y la resiliencia de las pastas en el momento óptimo de cocción; (2), la firmeza y (3) la pegajosidad. Para todas las mediciones, el aparato estuvo equipado con una celda de 25 kg. Todas las muestras se prepararon y se mantuvieron hasta la medición según el método 66-50 calidad culinaria de pastas - firmeza (AACC, 2000). Las pruebas se repitieron 3 veces y sólo se realizaron en las muestras que presentaron la mayor reducción del IG. (Martínez y col., 2007)

Por otro lado se prepararon geles al 10% de sólidos los cuales contenía la misma formulación de 18% de fibra que las pastas. Con estos geles se realizaron curvas de flujo y barridos de amplitud a $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ mediante un reómetro compacto modular Physica MCR 300 (Physica Messtechnik GmbH, Stuttgart, Alemania) Figura 15, con una geometría cono-placa en la que el cono de rotación fue de 50 mm de diámetro, y el ángulo del cono fue de $2,0^\circ$.



Figura 15. Reómetro MCR 300 y Texturómetro TA.XT plus.

5.2.5.1 Análisis de perfil de textura (APT)

Se midió APT de las pastas, colocando hebras con 5 cm de longitud orientadas perpendicularmente a la celda HDP / PFS, la celda comprimió las muestras de pasta a una velocidad de 2,0 mm/s a 70% de deformación seguido por un segundo ciclo de compresión después de 6s, resultando una curva típica de análisis de perfil de textura de fuerza-tiempo (Figura 16), de la cual se obtuvieron los parámetros de textura.

De la curva se obtienen los siguientes parámetros primarios:

- Dureza se define como la fuerza máxima que se debe aplicar durante el primer ciclo de compresión.
- Adhesividad es el área negativa que resulta de la primera mordida, representa el trabajo necesario cuando la sonda se quita de la muestra.
- Elasticidad está relacionada con la altura que el alimento recobra en un lapso de tiempo y es la relación de la distancia 2 entre la distancia 1 (d_2/d_1).
- Cohesividad se define como la relación de áreas entre el segundo ciclo de compresión y el primer ciclo (A_2/A_1).

Parámetros secundarios:

- Masticabilidad se define como el producto de la gomosidad * elasticidad.
- Resilencia es una medida de cuanto se recupera la muestra cuando fue deformada, es la propiedad de un material para regresar a su forma original después de ser estirado, doblado o apretado, sometido bajo una fuerza. Con el fin de obtener un valor significativo de este parámetro se debe optar por una prueba de velocidad relativamente lenta para permitir que la muestra pueda recuperarse, si es que la muestra posee esta propiedad.

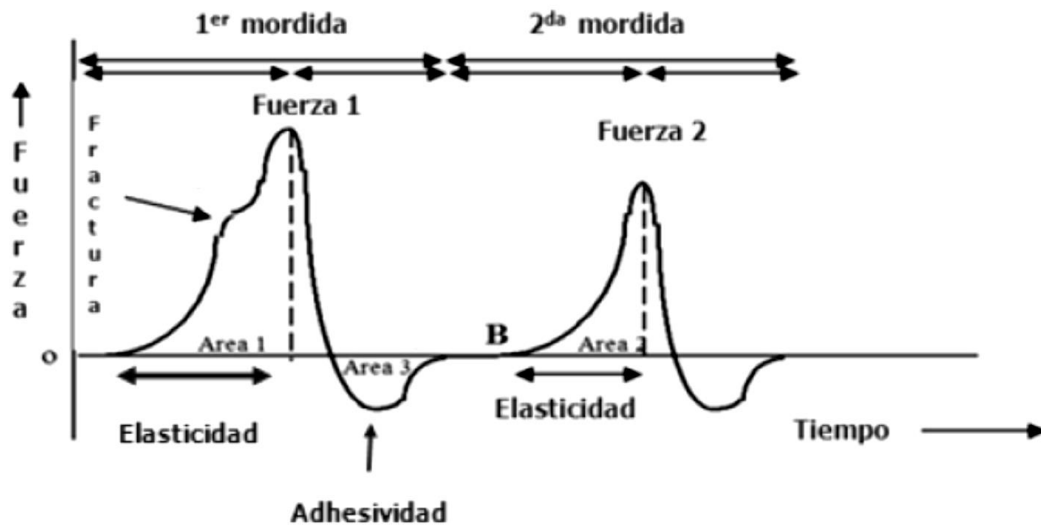


Figura 16. Curva típica de Análisis de Perfil de Textura

5.2.5.2 Análisis de firmeza

La firmeza de la pasta se midió con una cuchilla de cizallamiento (tipo HDP/S) en una base de la plataforma de aluminio plana, de tal manera que cada hebra estaba en contacto con el siguiente. La sonda comprimió las muestras a una velocidad de 0,17 mm/s a 70% de deformación, y se retrajo para finalizar la prueba. La firmeza se mide como la fuerza máxima de la curva.

5.2.5.3 Análisis de pegajosidad

Para la prueba de pegajosidad, se preparó la pasta orientada en la placa del texturómetro como se describió en las pruebas de APT y firmeza. Se midió con la celda HDP/PFS a una velocidad de 0,5 mm/s hasta alcanzar una fuerza de 49,03 N, manteniéndose estacionario durante 3 s y se retrajo para finalizar la prueba. La pegajosidad se define como la fuerza de pico máxima para separar la sonda de la superficie de la muestra después de la retracción de la sonda.

5.2.5.4 Curvas de flujo y Barrido de amplitud

El comportamiento de la viscosidad aparente (η_{app}) - velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) de los geles se determinó mediante el aumento de la velocidad de corte, 0001-1000 s⁻¹. Las propiedades viscoelásticas se determinaron en condiciones de corte oscilatorio. Para esto se realizaron experimentos de barrido de amplitud con frecuencia constante de 1 Hz y tensión que varió de 0,1 a 1000%.

5.2.6 Análisis físico.

5.2.6.1 Análisis de color de las pastas crudas

El color de las pastas crudas es un importante factor de calidad ya que es el primer contacto que tiene con el consumidor. Se determinó el color de las pastas mediante un colorímetro AccuProbeHH06 (Inc. Pittsford, NuevaYork, EUA, Figura 17). Se obtuvieron los parámetros L*, b* y a*, los dos primeros parámetros se consideran los más importantes como atributos de color. Una calificación de color se obtuvo utilizando la ecuación de Hareland (1995) $L^* + (b^* \times 2)/20$ dando un rango de puntuación de 1 a 10, siendo 10 la mejor calificación.



Figura 17. Colorímetro AccuProbe HH06

5.2.6.2 Distribución de tamaño de partícula.

Las pruebas de distribución de tamaño se realizaron a geles al 10% hechos con misma formulación de las muestras que presentaron la mayor reducción del I.G. y a las fibras utilizadas.

La distribución del tamaño de partícula de los geles y la fibra de chícharo se determinó por difracción láser utilizando un Mastersizer 2000 (MalvernInstrumentsLtd., Malvern, Worcestershire, Reino Unido), con la ayuda de una unidad para muestras líquidas.

Para la distribución del tamaño de partícula de las fibras de maíz y povidexrosa se utilizó el equipo Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido).

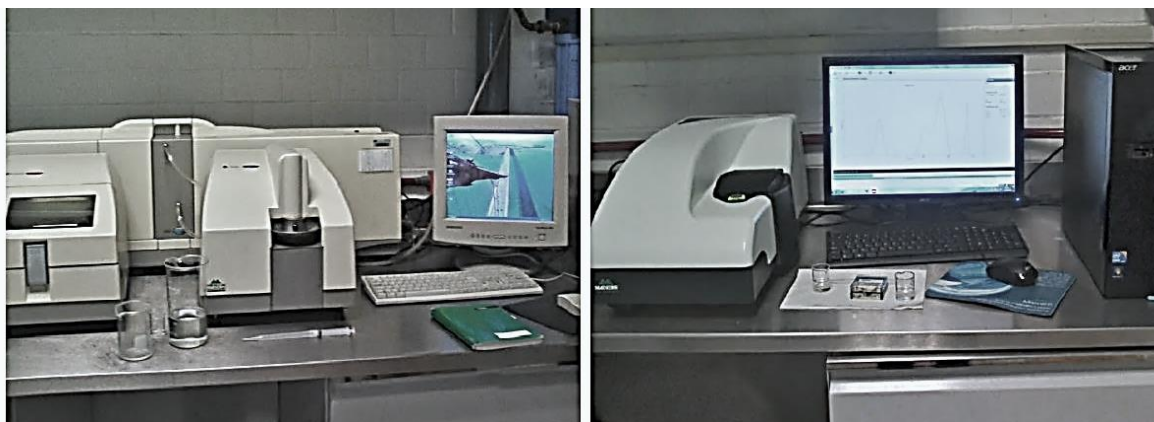


Figura 18. Mastersizer 2000 y Zetasizer Nano ZS90

5.2.6.3 Microscopía electrónica de barrido

Las partículas de las pastas liofilizadas (pasta control y pastas con 18% de fibra), sémola y fibras se montaron en un porta muestras de carbono utilizando cinta adhesiva de doble cara y se observaron utilizando un microscopio electrónico de barrido JEOL JMS 7600F (Akishima, Japón) con el modo de GB-H en 1 kV de aceleración. Obteniendo micrografías de 500x y 1000x de magnificación. Las muestras no fueron metalizadas ya que el equipo de microscopía opera en condiciones de ultra vacío (Hernández-Jaimes et al., 2013).

5.2.7 Análisis estadístico

El analizador de datos utilizando fue el software Statgraphics Plus (StatisticalGraphics Corp., Manugistics, Inc, Cambridge, MA, EE.UU.) para desarrollar la prueba de comparación de medias mediante la técnica de diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés). Correspondientes en cada caso, para lo cual se utilizó un rango de confiabilidad de 95 %. Todos los resultados se realizaron por triplicado.

6 Resultados y Discusión.

6.1 Análisis fisicoquímico.

En la Tabla 9 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado a la pasta control (PC) y las pastas con fibra (PFC, PFM, PFPD). Todas las variables medidas muestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El contenido de humedad en la pasta control, fue mayor (9.51%) al encontrado en las pastas con fibra. Los valores fueron disminuyendo al incrementar la concentración de fibra siendo las PFM en las que se observó la mayor disminución (8.56-5.48%) y las PFC fueron las de mayor contenido de humedad (9.51-7.06%). Este efecto podría estar relacionado con la disminución en el contenido de proteína, el cual ocasionó que la red proteica fuera menor y por lo tanto se favoreciera la eliminación de agua durante el secado (Gómez y Col., 2011).

El contenido de lípidos fue mayor en la pasta control (con 1.71%) que en los encontrados en las pastas con fibra. Los valores fueron disminuyendo al incrementar la concentración de fibra, siendo las PFPD las de mayor disminución (1.68-1.22%), y las PFC en donde se encontró el mayor contenido de lípidos (1.65-1.56%). Este efecto está relacionado con la cantidad de fibra sustituida. Sin embargo las pastas con 6% de fibra no mostraron diferencia significativa con la pasta control.

El porcentaje de proteína de las pastas fue disminuyendo al ir sustituyendo la sémola de trigo por las fibras. El porcentaje de proteína para PC (11.53%), menor al reportado por Torres y col. (2007) para una pasta con 100% de sémola de trigo *durum*, cuyo valor fue de 14.8%. Sin embargo, fue similar al reportado para un macarrón elaborado con sémola de trigo (11.65%) por Herken y col. (2007) como también al reportado para espaguetis (11.1%) por Martínez y col. (2007).

En cuanto a las pastas con fibra, el contenido de proteína disminuyó significativamente ($p < 0.05$). La adición de polisacáridos no amiláceos también hace que disminuya el contenido de proteína (Brennan y Tudorica, 2007; Herken y col., 2007); (Torres y col., 2007).

El contenido de cenizas para PC es de 0.4%. Este contenido de ceniza fue aumentado con la adición de las fibras. Hasta un 0.9 y 0.87% para las PFC y PFM con 18% de fibra, respectivamente. Esta misma tendencia se observó en espaguetis elaborados con sémola de trigo y adicionados con harina de garbanzo (0.77 a 1.71%) (Goñi y col., 2003). Los valores reportados para cenizas por estos autores, son menores para la muestra control y variaron dependiendo del tipo de ingrediente que sustituye a la sémola de trigo

El contenido de fibra dietaria total es aproximado al sustituido por sémola de trigo, sin embargo, es significativamente diferente entre pastas con la misma sustitución. Este efecto está relacionado por la composición de las distintas fibras y la humedad final de cada pasta.

En general el comportamiento observado en el análisis fisicoquímico de las pastas, se debe al efecto de concentración de la sémola de trigo y fibra en las pastas, lo que ocasionó una disminución en el contenido de humedad, lípidos y proteínas y un aumento en el contenido de cenizas (Tabla 9).

Tabla 9. Pruebas fisicoquímicas de las pastas

| Pastas | Humedad (%) | | | Grasa (%) | | | Proteína (%) | | | Ceniza (%) | | | FDT (%) | | |
|---------------------|-------------|---|--------------------|-----------|---|----------------------|--------------|---|--------------------|------------|---|--------------------|---------|---|--------------------|
| PC | 9,51 | ± | 0,09 ^{gh} | 1,71 | ± | 0,01 ^g | 11,53 | ± | 0,13 ⁱ | 0,40 | ± | 0,02 ^a | 0,10 | ± | 0,00 ^a |
| PFC ₆ | 9,51 | ± | 0,25 ^{gh} | 1,65 | ± | 0,10 ^g | 11,26 | ± | 0,01 ^h | 0,66 | ± | 0,04 ^{df} | 6,48 | ± | 0,64 ^c |
| PFC _{7,3} | 9,26 | ± | 0,11 ^{gh} | 1,64 | ± | 0,10 ^g | 10,87 | ± | 0,06 ^f | 0,69 | ± | 0,02 ^{fg} | 8,14 | ± | 0,39 ^f |
| PFC _{9,3} | 7,33 | ± | 0,10 ^d | 1,60 | ± | 0,10 ^{fgh} | 10,27 | ± | 0,12 ^d | 0,74 | ± | 0,01 ^g | 9,65 | ± | 0,02 ^h |
| PFC ₁₈ | 7,06 | ± | 0,08 ^{cd} | 1,56 | ± | 0,08 ^{cdf} | 9,14 | ± | 0,30 ^c | 0,90 | ± | 0,02 ^h | 18,94 | ± | 1,22 ^k |
| PFM ₆ | 8,56 | ± | 0,30 ^{ef} | 1,69 | ± | 0,02 ^g | 11,03 | ± | 0,05 ^g | 0,45 | ± | 0,05 ^a | 6,13 | ± | 0,03 ^{bc} |
| PFM _{7,3} | 8,23 | ± | 0,17 ^e | 1,65 | ± | 0,01 ^{dfgh} | 10,72 | ± | 0,07 ^f | 0,55 | ± | 0,09 ^b | 7,54 | ± | 0,00 ^d |
| PFM _{9,3} | 6,58 | ± | 0,19 ^b | 1,60 | ± | 0,01 ^{cd} | 10,27 | ± | 0,11 ^d | 0,71 | ± | 0,07 ^g | 9,65 | ± | 0,03 ^g |
| PFM ₁₈ | 5,48 | ± | 0,28 ^a | 1,42 | ± | 0,02 ^b | 8,75 | ± | 0,23 ^b | 0,87 | ± | 0,03 ^h | 16,70 | ± | 0,17 ⁱ |
| PFPD ₆ | 8,84 | ± | 0,08 ^{fg} | 1,68 | ± | 0,02 ^{fg} | 10,87 | ± | 0,13 ^{fg} | 0,43 | ± | 0,01 ^a | 5,88 | ± | 0,21 ^b |
| PFPD _{7,3} | 8,78 | ± | 0,67 ^f | 1,62 | ± | 0,01 ^{cdfg} | 10,76 | ± | 0,02 ^f | 0,44 | ± | 0,02 ^a | 7,43 | ± | 0,14 ^d |
| PFPD _{9,3} | 7,47 | ± | 0,34 ^d | 1,53 | ± | 0,04 ^c | 10,27 | ± | 0,11 ^d | 0,58 | ± | 0,02 ^{bc} | 9,65 | ± | 0,03 ^g |
| PFPD ₁₈ | 6,67 | ± | 0,28 ^{bc} | 1,22 | ± | 0,10 ^a | 8,53 | ± | 0,07 ^a | 0,63 | ± | 0,09 ^{cd} | 17,56 | ± | 0,30 ⁱ |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de povidexrosa.
Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Resultados expresados como la media de tres repeticiones \pm SD.

6.1.1 Análisis de color de las pastas crudas.

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis de color realizado a la pasta control (PC) y las pastas con fibra (PFC, PFM, PFPD). Todas las variables medidas se vieron afectadas por la sustitución de fibra, observando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Las pastas con fibra de polidextrosa son más claras (59.01-60.85) en comparación con PC (58.51). Sin embargo, las PFC y PFM presentan una disminución de L^* con la sustitución de fibra. Este último efecto también ha sido reportado por Susanna y Prabhasankar (2012) al sustituir sémola de trigo *durum* por harina de avena y maíz (30.66 y 31.64), obteniendo pastas más claras que la pasta control (36.04).

De manera similar a los valores de L^* , los valores de b^* en las pastas de polidextrosa aumento con la sustitución de la fibra de 19.35 a 23.25 siendo estas las pastas más amarillas en comparación con el resto de las pastas. La pasta control presento un valor de 18.88 valor también reportado por Susanna y Prabhasankar (2012) y por Martínez y col (2007) para una pasta comercial. Las PFC son las menos amarillas, presentando valores entre 17.63 y 16.48. La disminución de valores de L^* y b^* al sustituir sémola de trigo por fibra de chícharo y harinas de leguminosa han sido reportadas por Susanna y Prabhasankar (2012), Gómez y col. (2011), Granito Torres y Guerra (2003). La disminución L^* y b^* podría percibirse por el consumidor como una pasta de menor calidad al verse más oscuras y menos amarillas.

El valor de a^* para la pasta control fue de 0.32 cercano a 0.40 reportado por Martínez y col. (2007). Los valores de a^* para PFC y PFM sin importar el porcentaje de sustitución son negativos, lo que significa tonalidades verdes y no roja en comparación al control. Por otro lado la calificación de color a pesar de encontrarse en un rango medio de 4.57 a 5.32 (calificación 1-10), esta es aceptable y se encuentra en el rango de color para pastas comerciales como las reportadas por Martínez y col. (2007) con valores de 4.1 a 5.9.

Tabla 10. Color de la pasta cruda por Colorímetro AccuProbe HH06

| Pasta | L* | | b* | | a* | | Puntuación de color | |
|---------------------|-------|---------------------------------|-------|------------------------|-------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| PC | 58,51 | ± 0,85 ^{bcd} | 18,88 | ± 1,84 ^{de} | 0,32 | ± 0,92 ^{cd} | 4,81 | ± 0,18 ^{b^c} |
| PFC ₆ | 57,14 | ± 1,12 ^{ab} | 17,63 | ± 0,36 ^{abcd} | -1,22 | ± 0,47 ^{ab} | 4,63 | ± 0,25 ^a |
| PFC _{7,3} | 57,25 | ± 0,75 ^{abc} | 17,45 | ± 0,60 ^{abc} | -0,12 | ± 0,77 ^{bc} | 4,61 | ± 0,02 ^a |
| PFC _{9,3} | 57,47 | ± 0,47 ^{abc} | 17,26 | ± 0,87 ^{ab} | -0,20 | ± 0,69 ^{bc} | 4,60 | ± 0,18 ^a |
| PFC ₁₈ | 57,75 | ± 0,99 ^{abc} | 16,48 | ± 0,53 ^a | -0,06 | ± 0,72 ^{bcd} | 4,57 | ± 0,11 ^a |
| PFM ₆ | 59,56 | ± 0,94 ^{df} | 18,75 | ± 0,68 ^{cde} | -0,24 | ± 0,74 ^{abc} | 4,85 | ± 0,21 ^{bc} |
| PFM _{7,3} | 57,03 | ± 0,93 ^{ab} | 18,40 | ± 0,16 ^{bcde} | -0,56 | ± 0,38 ^{abc} | 4,73 | ± 0,28 ^{ab} |
| PFM _{9,3} | 56,42 | ± 1,37 ^a | 17,96 | ± 0,22 ^{bcd} | -0,60 | ± 0,79 ^{abc} | 4,69 | ± 0,32 ^a |
| PFM ₁₈ | 56,36 | ± 0,65 ^a | 17,58 | ± 0,81 ^{abcd} | -1,62 | ± 1,14 ^a | 4,59 | ± 0,23 ^a |
| PFPD ₆ | 59,01 | ± 2,04 ^{cd} | 19,35 | ± 0,40 ^e | 1,27 | ± 0,79 ^d | 4,85 | ± 0,34 ^c |
| PFPD _{7,3} | 59,85 | ± 0,74 ^{df} | 20,77 | ± 0,99 ^f | 0,29 | ± 0,46 ^{cd} | 5,20 | ± 0,23 ^d |
| PFPD _{9,3} | 61,74 | ± 1,02 ^h | 21,72 | ± 0,50 ^f | 0,12 | ± 0,50 ^{bcd} | 5,16 | ± 0,15 ^d |
| PFPD ₁₈ | 60,85 | ± 0,92 ^{f^g} | 23,25 | ± 0,64 ^g | -0,71 | ± 1,58 ^{abc} | 5,32 | ± 0,19 ^e |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de polidextrosa.

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Resultados expresados como la media de tres repeticiones \pm SD.

6.2 Pruebas de cocción.

Cuando se sustituye particularmente la sémola en la elaboración de pastas, se espera que los parámetros de calidad se vean alterados (Granito y Ascadio, 2009). Particularmente, el tiempo de cocción es especialmente importante por su influencia sobre la textura y sabor de las pastas. Así, si las pastas se cocinan menos de lo indicado, la textura será dura y resaltará el sabor de la harina; si por el contrario las pastas están sobre-cocidas, se tornarán blanquecinas, se rompen fácilmente en pequeños trozos y presentan una textura suave, elástica y pegajosa, lo cual es considerado por los consumidores como una sensación desagradable en la boca (Samaan y Col., 2006)

En la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos de las pruebas de cocción de las pastas. Al comparar las pastas sustituidas con fibra (PFC, PFM y PFPD) con la pasta control (PC) se encontró un incremento significativo en el tiempo óptimo de cocción por la presencia de fibra, lo que puede ser atribuido a que la fibra compite por el agua con el almidón y las proteínas presentes en la sémola, dificultando así la gelatinización del almidón y la formación de la matriz de gluten en las pastas (Osorio-Díaz y col., 2008). Sin embargo, para las PFC, el tiempo de cocción (aunque fue mayor a PC) disminuyó con el incremento de fibra y se obtuvieron pastas más duras, caso contrario para las PFM. Las PFPD de 7.3 a 18% no presentaron diferencia significativa. El incremento del tiempo óptimo de cocción causado por la adición de fibra es un punto negativo para las propiedades de cocción sin embargo para una pasta comercial es hasta 12 minutos, así, las pastas aquí formuladas en general presentan tiempos menores.

Todas las pastas adicionadas con fibra presentaron un menor incremento de volumen que la pasta control, las pastas adicionadas con 6-7.3 % de fibra de chícharo y 6% de povidexosa presentaron el mayor incremento de volumen, sin embargo, el grado de absorción de agua de las PFC no fue significativamente

diferentes con el incremento de concentración, no obstante que sus valores promedio fueron superiores al resto de los tratamientos con las otras fibras evaluadas.

Para los sólidos disueltos en agua, la PC y las pastas con poca concentración de fibra PFC₆, PFC_{7.3}, PFM₆ y PFPD₆ no presentaron diferencia significativa. Sin embargo, al aumentarla cantidad de fibra en los niveles de 7.3 a 18 % aumentó la concentración de sólidos disueltos en agua, siendo estos significativamente mayores que los observados en PC, considerado un efecto negativo. Los sedimentos producidos por la pasta durante el cocimiento, están constituido principalmente por almidón que se desprende de la pasta por efecto de la cocción (Susanna y Prabhasankar, 2012). Por lo que contenido de proteína es una variable importante en la determinación de la calidad de cocción de pastas (Troccoli y col., 2000), debido a que la proteína forma una red insoluble que encierra a los gránulos hinchados y gelatinizados de almidón (Tabla 9).

Las PFC mostraron el mayor índice de tolerancia al cocimiento no existiendo diferencia significativa entre las concentraciones de 7.3 y 18%. Siendo esto un efecto positivo ya que una pasta resistente al cocimiento refleja una mayor calidad. Esto puede ser atribuido a la formación de una matriz de estructura compacta y porosa donde los componentes estarían atrapando a los gránulos de almidón (Brennan y Tudorica, 2008). No existió diferencia significativa entre PFM y PFPD en los porcentajes de 6 y 7.5 con respecto a la PC. Sin embargo, la PFM se rompe fácilmente al ser manipulada.

Tabla 11. Pruebas de cocción

| Pastas | Tiempo óptimo de cocción (min) | Grado de absorción de agua (%) | Incremento de volumen (%) | Sólidos disueltos en agua (%) | Índice de tolerancia al cocimiento (min) |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| PC | 6,00 ± 0,37 ^a | 200,87 ± 2,00 ^d | 250,00 ± 0,00 ^e | 4,13 ± 0,42 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a |
| PFC ₆ | 14,00 ± 0,50 ^f | 183,48 ± 6,17 ^{bc} | 225,00 ± 0,00 ^d | 4,27 ± 0,27 ^a | 20,00 ± 0,00 ^e |
| PFC _{7,3} | 10,50 ± 0,49 ^{d^e} | 189,36 ± 0,22 ^c | 225,00 ± 0,00 ^d | 4,40 ± 0,63 ^a | 25,50 ± 0,70 ^f |
| PFC _{9,3} | 10,00 ± 0,20 ^d | 189,90 ± 2,05 ^c | 200,00 ± 0,00 ^{bc} | 6,99 ± 0,24 ^c | 26,50 ± 0,70 ^f |
| PFC ₁₈ | 7,00 ± 0,20 ^b | 190,75 ± 1,56 ^c | 200,00 ± 0,00 ^{bc} | 7,83 ± 0,26 ^d | 26,50 ± 0,70 ^f |
| PFM ₆ | 7,00 ± 0,40 ^b | 155,19 ± 15,15 ^a | 155,00 ± 7,07 ^a | 4,24 ± 0,34 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a |
| PFM _{7,3} | 7,50 ± 0,60 ^b | 160,25 ± 11,30 ^a | 200,00 ± 0,00 ^{bc} | 6,37 ± 0,21 ^c | 10,00 ± 0,00 ^a |
| PFM _{9,3} | 11,00 ± 0,43 ^e | 175,22 ± 0,83 ^b | 200,00 ± 0,00 ^{bc} | 9,65 ± 0,56 ^e | 16,00 ± 1,414 ^b |
| PFM ₁₈ | 11,00 ± 0,29 ^e | 176,08 ± 0,00 ^b | 200,00 ± 7,07 ^{bc} | 13,05 ± 0,58 ^f | 17,00 ± 0,00 ^{bc} |
| PFPD ₆ | 7,50 ± 0,48 ^b | 177,81 ± 9,96 ^{ab} | 225,00 ± 0,00 ^d | 4,17 ± 0,33 ^a | 10,00 ± 0,00 ^a |
| PFPD _{7,3} | 8,00 ± 0,40 ^{b^c} | 162,96 ± 3,12 ^a | 200,00 ± 0,00 ^{bc} | 5,09 ± 0,43 ^b | 10,50 ± 0,71 ^a |
| PFPD _{9,3} | 8,20 ± 0,44 ^{b^c} | 156,07 ± 0,00 ^a | 190,00 ± 14,14 ^{bc} | 7,80 ± 0,14 ^d | 14,00 ± 1,41 ^b |
| PFPD ₁₈ | 8,00 ± 0,15 ^c | 154,49 ± 7,03 ^a | 175,00 ± 7,07 ^b | 12,55 ± 0,24 ^f | 19,00 ± 0,00 ^d |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de povidexrosa.

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD.

6.3 Análisis de biodisponibilidad.

6.3.1 Almidón disponible.

Esta medida representa la cantidad de carbohidratos digeribles del alimento. De tal forma que los valores obtenidos, se puedan relacionar con la magnitud de la respuesta glucémica generada después del consumo del alimento (Englyst y col., 1996).

En la Tabla 12 se muestra el contenido de almidón disponible (AD) de la pasta control y las pastas adicionada con fibra de chícharo, maíz y polidextrosa. Se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.5$) entre las pastas formuladas. Las pastas sustituidas con fibra de chícharo son de mayor porcentaje de AD teniendo entre 76.8 y 72.22 %, siendo significativamente mayor que la pasta control con 71.16% esto puede deberse al contenido de almidón disponible que contiene la fibra de chícharo. Sin embargo, son varios los factores que influyen en la biodisponibilidad enzimática del almidón y por tanto en la velocidad de digestión de este, por ejemplo: la estructura y textura física del alimento, la hidratación del almidón durante un tratamiento térmico (gelatinización y retrogradación), la estructura química del alimento (relación amilosa-amilopectina), la presencia de ciertos componentes en el alimento como antinutrientes, ácidos orgánicos, fibra, naturaleza de la proteína, cantidad de lípidos, entre otros (Björck y col., 1994).

El contenido de AD obtenido para la muestra control fue similar al reportado por Goñi y col. (1997) (71.08%) para espagueti comercial, también al reportado en espagueti elaborado con sémola de trigo por Torres y col. (2007b) (71.15%), y por Goñi y col. (2003) (71.1%). Sin embargo, Rosin y col. (2002) reportaron un valor de AD en espagueti comercial (83.71%) mayor al encontrado en este trabajo para el espagueti control. Esta diferencia quizás se deba al tiempo de cocción empleado para la preparación de la muestra. Los autores para realizar el análisis de sus

muestras, cocieron los espaguetis durante 20 min, durante este tiempo, ocurrió una pérdida de la estructura granular compacta del almidón, lo que ocasionó la liberación de los componentes del almidón y por consecuencia, un incremento en la disponibilidad del almidón a las enzimas digestivas (Holm y col., 1988).

Tabla 12. Almidón disponible

| Pastas | Almidón Disponible (%) | |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------|
| PC | 71,16 | ± 0,83 ^{cd} |
| PFC ₆ | 72,22 | ± 0,83 ^d |
| PFC _{7,3} | 75,27 | ± 1,43 ^f |
| PFC _{9,3} | 76,60 | ± 1,62 ^{fg} |
| PFC ₁₈ | 76,80 | ± 1,55 ^g |
| PFM ₆ | 71,29 | ± 0,65 ^{cd} |
| PFM _{7,3} | 71,04 | ± 0,53 ^{cd} |
| PFM _{9,3} | 70,57 | ± 0,78 ^{bc} |
| PFM ₁₈ | 68,37 | ± 0,85 ^a |
| PFPD ₆ | 70,84 | ± 0,66 ^{bcd} |
| PFPD _{7,3} | 69,59 | ± 1,16 ^{ab} |
| PFPD _{9,3} | 69,56 | ± 0,66 ^{ab} |
| PFPD ₁₈ | 68,45 | ± 0,78 ^a |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de polidextrosa. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Resultados expresados como la media de cuatro repeticiones ± SD.

La cantidad de almidón disponible para PFM y PFPD disminuyó con la concentración de fibra adicionada. Una investigación realizada por Fardet y col. (1999) demostró que la adición de fibra soluble en un 7 % conduce a una reducción de la digestibilidad del almidón en la pasta, mientras Brennan y col. (1996) ilustran que la goma guar disminuyó la tasa de digestibilidad del almidón de pan de trigo en comparación con un pan control, observaron que los gránulos de almidón de trigo se recubrieron con una capa de galactomanano de guar que actuaría como una barrera física durante la digestión de almidón. Esta capa mucilaginosa que describe Brennan y col. (1996), está formada por fibra dietaria solubles alrededor de los gránulos de almidón, esto también se observó en el presente trabajo en las micrografías electrónicas de barrido (Figura 26).

6.3.2 Hidrólisis de Almidón.

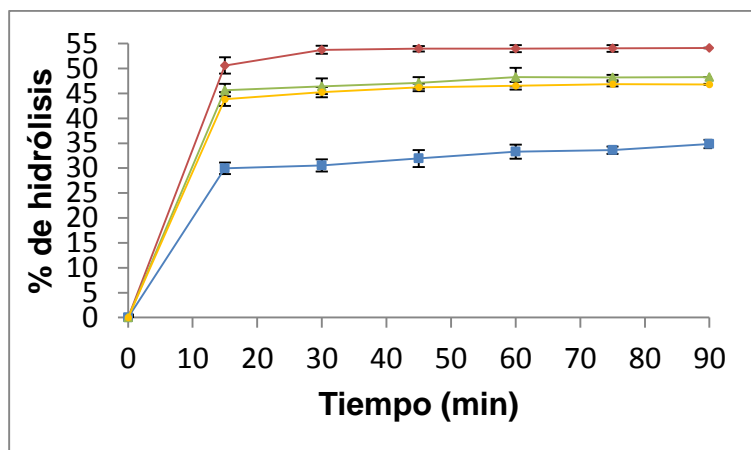
La velocidad de digestión de los alimentos es la principal determinante de la respuesta glucémica (Mourot y col., 1988). Las curvas de los porcentajes de hidrólisis de la pasta control y las pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y povidexrosa se muestran en la Figura 19.

En general se observó un incremento significativo del porcentaje de hidrólisis a los 15 minutos de la reacción, comportamiento observado por Goñi y col. (1997) para una pasta de 100% de sémola de trigo. El curso de la hidrólisis de las pastas con 6, 7.3 y 9.3%, a excepción de PFPD con 9.3% de fibra, no varió significativamente. Se observó un menor porcentaje de hidrólisis en las pastas con 18% de fibra en comparación a la pasta control, comportamiento que ya había sido reportado por Brennan y Tudorica (2008) al aumentar el porcentaje de fibra en las pastas.

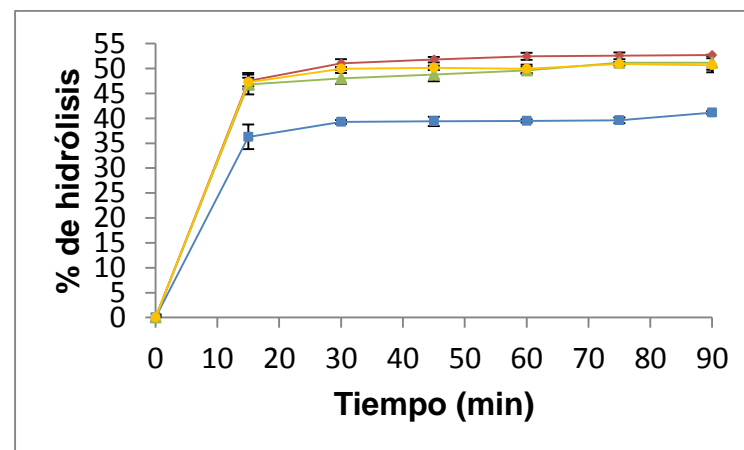
A los 15 min de reacción, el porcentaje de hidrólisis incrementó muy rápido en todas las muestras. Sin embargo, la hidrólisis incrementó ligeramente entre los 15 y 30 min, después de los 30 min de reacción esta fue prácticamente constante. La pasta control presentó 50.61% de hidrólisis a los 15 min, y las pastas con fibra un porcentaje menor a 50, lo que es más evidente en las PFM y PFPD con 18% al tener un 43.87 y 29.95 % respectivamente. Como puede observarse en las curvas de hidrólisis de la Figura 19, existe una menor concentración de carbohidratos digeribles al aumentar la concentración de fibra de cada una de las pastas, lo que coincide con la disminución del contenido de almidón disponible (Tabla 12) también reportado por, Osorio-Díaz y col. (2008). Estudios realizados a pastas adicionadas con fibra soluble (fibra de bambú y fibra de chícharo) e insoluble (inulina, goma guar y xantana) demuestran la disminución del porcentaje de hidrólisis, obteniendo mejores resultados con fibras solubles (Brennan y Tudorica, 2008). Lo que se constata en el presente trabajo al obtener una mayor disminución del porcentaje de hidrólisis en las pastas con fibra soluble (maíz y povidexrosa), siendo las pastas de

polidextrosa las de mayor disminución y por ello las formulaciones más convenientes ya que este resultado impacta directamente en la predicción de índice glucémico como puede observar más adelante.

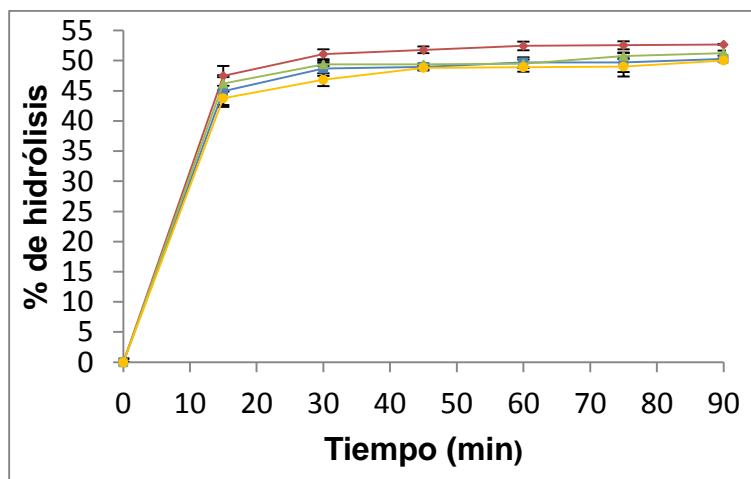
Otros estudios que tratan de dar explicación de la disminución del porcentaje hidrólisis por la adición de fibra en pastas alimenticias, indican que la limitación en la disponibilidad de agua, como una consecuencia de la hidratación de los polisacáridos solubles no amiláceos, puede restringir la gelatinización del almidón y por lo tanto reducir la hidrólisis por la α -amilasa (Cleary y Brennan, 2006).



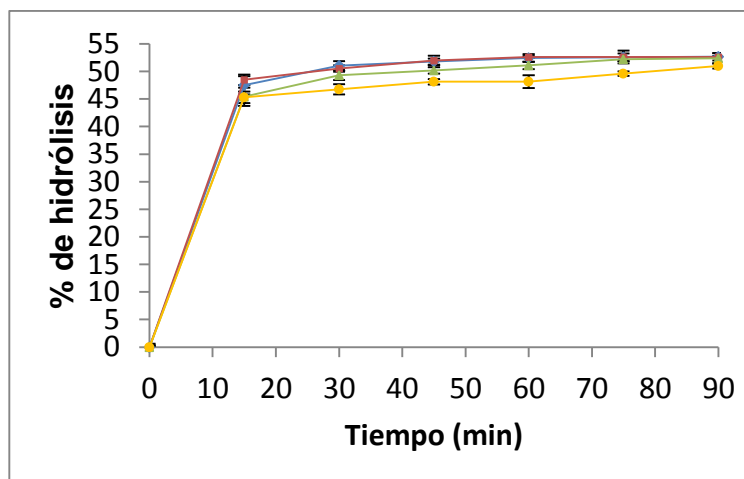
Pastas con 18% de fibra



Pastas con 9.3% de fibra



Pastas con 7.3% de fibra



Pastas con 6% de fibra

Figura 19.Curvas promedio de hidrólisis de almidón para todas las pastas formuladas

PC (♦) PFC (▲) PFM (●) PFPD (■)

6.3.3 Predicción del Índice Glucémico.

En la Tabla 13 se presentan los resultados de fibra dietaria total (FDT), índice de hidrólisis (IH), predicción del Índice Glucémico (pIG) y reducción del Índice Glucémico. Como era de esperar a partir de los resultados de IH, el efecto más pequeño en la disminución de la pIG se relaciona con el uso de fibra de chícharo. De acuerdo a Goñi y col. (1997) se tomaron los valores de hidrólisis a los 90 minutos (IH_{90 min}) para estimar pIG. El valor predicho del Índice Glucémico de la pasta control (68.6) es igual al pIG (68) reportado por (Goñi y col., 1997). El pIG de las PFC, PFM y PFPD con 18% y las PFPD con 9.3% de fibra adicionada fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos no existiendo diferencia significativa entre la pasta control y las PFC 9.3%, PFC 6% y PFPD 6%. La PFPD al 18% de fibra añadida presentó el menor pIG (reducción de 14.27%) seguido de la pasta con PFPD al 7.3%, PFM 18% y PFC 18%. Esta reducción puede atribuirse al cambio de estructura que ocasionó el aumento de la concentración de fibra (Brennan y Tudorica, 2008).

Tabla 13. Índice de hidrólisis 90min, índice glucémico predicho y porcentaje de reducción del pIG.

| Pastas | IH _{90 min} (%) | pIG | Reducción del pIG (%) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| PC | 52,68 ± 0,08 ^e | 68,6 ± 0,04 ^e | 0,0000 |
| PFC ₆ | 52,37 ± 0,95 ^e | 68,5 ± 0,52 ^e | 0,24 |
| PFC _{7,3} | 51,24 ± 0,43 ^e | 67,8 ± 0,24 ^e | 1,15 |
| PFC _{9,3} | 51,22 ± 1,41 ^e | 67,8 ± 0,77 ^e | 1,16 |
| PFC ₁₈ | 48,30 ± 0,01 ^d | 66,2 ± 0,01 ^d | 3,50 |
| PFM ₆ | 51,00 ± 0,49 ^e | 67,7 ± 0,27 ^e | 1,34 |
| PFM _{7,3} | 50,68 ± 0,17 ^e | 67,5 ± 0,09 ^e | 1,60 |
| PFM _{9,3} | 50,01 ± 1,41 ^e | 67,2 ± 0,77 ^e | 2,13 |
| PFM ₁₈ | 46,96 ± 0,10 ^c | 65,5 ± 0,05 ^c | 4,57 |
| PFPD ₆ | 52,64 ± 0,65 ^e | 68,6 ± 0,35 ^e | 0,03 |
| PFPD _{7,3} | 50,14 ± 0,07 ^e | 67,2 ± 0,04 ^e | 2,03 |
| PFPD _{9,3} | 41,35 ± 0,31 ^b | 62,4 ± 0,17 ^b | 9,06 |
| PFPD ₁₈ | 34,84 ± 0,84 ^a | 58,8 ± 0,46 ^a | 14,27 |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de povidexrosa. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD.

6.4 Análisis reológico.

6.4.1 Análisis de perfil de textura (APT).

La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos por el análisis de perfil de textura de las pastas con 18% de sustitución de sémola por fibra, los cuales obtuvieron un mayor porcentaje de reducción del índice glucémico. Se observó diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

La dureza de PC fue 8629.96g (84.63N), y es menor a los 119.7N reportado por Martínez y col. 2007. Sin embargo, este valor fue mucho mayor a 28.37N reportado por Susanna y Prabhasankar (2012) para una pasta con 100% de sémola de trigo *durum*. La dureza de PFC₁₈ es 11913.46g y es significativamente mayor a PC, PFM₁₈ y PFPD₁₈. Este mismo efecto fue reportado por Susanna y Prabhasankar (2012) en pastas con goma Xantana. La dureza para PFM₁₈ y PFPD₁₈ es menor que para PC y PFC₁₈, teniendo menor dureza la PFM₁₈ (6591.3g) este efecto también fue reportado por Tudorica y col. (2002) con pastas adicionadas con inulina y goma guar.

No se presenta diferencia significativa en adhesividad, elasticidad, cohesividad, masticabilidad y resiliencia de PFM₁₈ contra PFPD₁₈ y PC contra PFC₁₈ a excepción de la masticabilidad para estas últimas. Estos efectos son relacionados a la viscoelasticidad y la matriz formada por las distintas fibras (fibras solubles e insolubles) con la sémola (Brennan y Tudorica, 2008).

La adhesividad de PFC₁₈ (-73.33) es estadísticamente igual a PC (-77.33) y son menos adhesivas que PFM₁₈ (-206.41) y PFPD₁₈ (-192.98); este parámetro se relaciona a la alta pegajosidad (Tabla 15) que presentan estas dos formulaciones.

Por otro lado, y a pesar de que existe diferencia significativa para el parámetro de elasticidad esta no es tan sensible como la que se reporta más adelante en el

análisis de pegajosidad, ya que este parámetro está relacionado con la altura que recobró la pasta en un tiempo determinado de compresión.

La cohesividad de PFC₁₈ (0.79) es estadísticamente igual a PC (0.80), esto indica una armoniosa unión de los componentes de la sémola de trigo *durum* con los de la fibra de chícharo, caso contrario de la PFM₁₈ que tiene el menor valor de cohesividad (0.50) lo que se relaciona con el alto porcentaje (13%) de sólidos disueltos.

La masticabilidad de PFC₁₈ (8871.24g) es estadísticamente mayor a PC (5377.76g) mientras que PFPD₁₈ presentó menor masticabilidad (3345,94g). Este mismo comportamiento se observó en la dureza, posiblemente causado por la estructura y cohesividad entre la sémola y las distintas fibras.

Las PFM₁₈ y PFPD₁₈ presentaron valores de resiliencia de 0.20 y 0.25 respectivamente siendo menores que 0.61 de PC y 0.60 de PFC₁₈.

La semejanza estadística de los valores del perfil de textura de PC contra PFC₁₈ es deseable al sustituir sémola por fibra, ya que es indeseable una pasta que se desintegre antes de consumirla o esté excesivamente suave o dura y que finalmente sea desagradable al consumidor.

Tabla 14. Análisis de perfil de textura de pastas con 18% de fibra, medido texturómetro TA.XTplus

| Pastas | Dureza (g) | Adhesividad (g.sec) | Elasticidad | Cohesividad | Masticabilidad (g) | Resiliencia |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| PC | 8629,9 ± 167,45 ^c | -77,33 ± 3,57 ^b | 0,89 ± 0,01 ^b | 0,80 ± 0,04 ^b | 5377,76 ± 296,24 ^b | 0,61 ± 0,05 ^b |
| PFC ₁₈ | 11913,46 ± 193,86 ^d | -73,53 ± 3,33 ^b | 0,89 ± 0,00 ^b | 0,79 ± 0,00 ^b | 8871,24 ± 296,24 ^c | 0,60 ± 0,01 ^b |
| PFM ₁₈ | 6591,3 ± 335,38 ^a | -206,41 ± 10,64 ^a | 0,83 ± 0,02 ^a | 0,50 ± 0,02 ^a | 2782,97 ± 485,87 ^a | 0,20 ± 0,01 ^a |
| PFPD ₁₈ | 7416,1 ± 189,626 ^b | -192,98 ± 9,28 ^a | 0,82 ± 0,03 ^a | 0,56 ± 0,00 ^a | 3345,94 ± 401,40 ^a | 0,25 ± 0,00 ^a |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de polidextrosa.
 Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).
 Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD.

6.4.2 Análisis de firmeza.

La firmeza es la fuerza máxima requerida para cortar la pasta. (García y col, 2009)
En la

Figura 20 se muestra el resultado obtenido de firmeza para PC y las pastas cocidas con mayor porcentaje de reducción del índice glucémico. Se observó diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

La firmeza de PFM₁₈ (348.1g) y PFPD₁₈ (360.6g) son estadísticamente iguales y significativamente diferentes a PC (448.4g). Un efecto similar fue observado por Tudorica y col. (2002) en pastas con 12.5 y 15 % de adición de inulina valores menores al obtenido en una pasta control con 100% de sémola. La PFC₁₈ (514.3g) fue la formulación que presentó el valor mayor de firmeza siendo significativamente mayor que el resto de las formulaciones incluso que la PC.

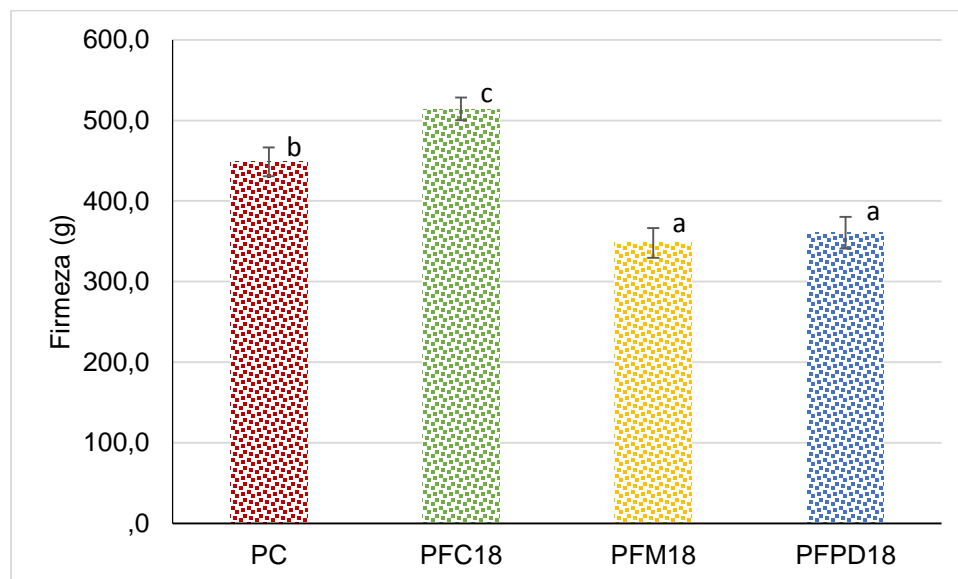


Figura 20. Firmeza de pastas cocidas

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de povidexrosa. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Resultados expresados como la media de tres repeticiones \pm SD.

6.4.3 Análisis de pegajosidad.

En la Tabla 15 se muestra el resultado obtenido de elasticidad, pegajosidad y adhesividad para PC y las pastas cocidas que presentaron el mayor porcentaje de reducción del índice glucémico. Estas tres mediciones se obtienen a partir de un solo análisis, que emula la manipulación con las manos al oprimir una tira de pasta con los dedos. El análisis de pegajosidad es diferente al análisis de perfil de textura y firmeza, porque estas emulan la manipulación con la boca. Se observó diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$).

La PC obtuvo una elasticidad de 1.44 mm similar a 1.45 mm obtenido por Martínez y col (2007) para una pasta con 100% sémola. PFM₁₈ y PFPD₁₈ obtuvieron valores mayores de elasticidad (5.32 y 6.28 mm, respectivamente), caso contrario a PFC₁₈ que es significativamente menor con 0.46 mm. Esto fue observado en los resultados obtenidos por las pruebas de cocción y APT, donde PFC₁₈ es más dura por lo que requiere de mayor tiempo de cocción y su índice de tolerancia es mayor, lo que también se observa en la Figura 20 donde se muestra un valor de firmeza significativamente mayor que el resto de las formulaciones (PC, PFM₁₈ y PFPD₁₈) por lo que se requirió mayor fuerza para romper esta pasta.

La pegajosidad se vio afectada en las pastas adicionadas con fibra ya que PC obtuvo 19.48 g, siendo significativamente menor que los valores obtenidos para PFC₁₈, PFM₁₈ y PFPD₁₈. Las formulaciones que presentaron mayor pegajosidad fueron PFM₁₈ y PFPD₁₈ lo que puede ser relacionado a la viscoelasticidad que generan la incorporación de fibras en las pastas (Susanna y Prabhsankar, 2012).

De manera similar a la elasticidad la fibra de chícharo le confirió una menor adhesividad a la pasta (3.52g·s), lo que es significativamente menor que la pasta control (4.41g·s). Esta baja adhesividad también puede ser atribuida a su dureza. PFM₁₈ y PFPD₁₈ son significativamente más adhesivas que PC y PFC₁₈, lo que puede ser explicado al ser las formulaciones menos duras y cohesivas (Tabla 14).

Tabla 15. Pegajosidad de pastas cocidas.

| | Elasticidad (mm) | | Pegajosidad (g) | | Adhesividad (g·s) | |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| PC | 1,44 | ± 0,33 ^b | 193,48 | ± 5,29 ^a | 4,41 | ± 1,41 ^a |
| PFC ₁₈ | 0,46 | ± 0,06 ^a | 298,58 | ± 27,47 ^b | 3,52 | ± 1,15 ^a |
| PFM ₁₈ | 5,32 | ± 0,45 ^d | 397,67 | ± 35,46 ^c | 16,59 | ± 1,61 ^b |
| PFPD ₁₈ | 6,28 | ± 0,54 ^c | 415,52 | ± 35,46 ^c | 18,22 | ± 0,29 ^b |

PC: pasta control, PFC: pasta con fibra de chícharo PFM: pasta con fibra de maíz y PFPD: pasta con fibra de povidexrosa. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Resultados expresados como la media de tres repeticiones \pm SD.

6.4.4 Curvas de flujo y barridos de amplitud.

Las propiedades reológicas de los geles obtenidos por la dispersión de sémola y fibras de distinto origen en agua dependen de la naturaleza, proporciones relativas e interacciones ocurriendo entre las fibras, almidones y proteínas que contienen, y estas propiedades reológicas influirán en la calidad y características de las pastas derivadas de ellas (Vasiliu y Navas, 2009). En la Figura 21 se muestran las curvas de viscosidad aparente contra velocidad de corte de los geles obtenidos a partir de la dispersión de 10 % de sólidos de los cuales el 82% corresponde a la sémola y el 18% a la fibra de distinto origen en agua así como el gel control (sin adición de fibra). Todos los geles mostraron un comportamiento típico de dispersiones floculadas y el comportamiento de flujo se puede explicar en términos de cuatro regiones características de izquierda a derecha como sigue (McClements, 2005): (i) Cuando una dispersión se encuentra estable en un estado de reposo puede flocularse cuando se le expone a esfuerzos cortantes, mostrando inicialmente un comportamiento espesante debido a que la formación de los flóculos conlleva a un aumento en la viscosidad aparente (velocidades de corte entre ~ 0.0001 a 0.001 s^{-1}) por la inmovilización de agua en los espacios intersticiales; (ii) la formación de estos flóculos conlleva a la formación de una red tridimensional que resiste el efecto de la velocidad de corte, exhibiéndose una región de viscosidad aparente con valor constante (~ 0.001 a 0.003 s^{-1}); (iii) a velocidades de corte

mayores (~ 0.003 a 1000 s^{-1}), la red tridimensional se deforma y los flóculos empiezan a romperse y se alinean con el campo de corte, lo cual disminuye su resistencia al flujo, manifestándose como una disminución en la viscosidad aparente; (iv) a velocidades de corte muy grandes ($\gg 1000 \text{ s}^{-1}$, no mostrado en aquí), todos los flóculos han sido destruidos y la viscosidad alcanza un valor constante mínimo.

El gel control (GC) y el de fibra de chícharo (GFC) exhibieron curvas de flujo muy similares entre sí y una viscosidad aparente mayor a la de los geles de fibra de maíz (GFM) y de povidexrosa (GFPD) que también exhibieron un comportamiento muy parecido entre sí en todo el rango de velocidades de corte estudiado.

El dar una explicación profunda del porqué de estos resultados está más allá de los alcances de este estudio. Sin embargo, se sabe que sistemas dispersos con una fracción volumen de partículas lo suficientemente alta (como lo fue en nuestro caso, evidenciado por las curvas de flujo) da origen a una estructura tri-dimensional de partículas agregadas que se extiende por toda la fase dispersa. Este tipo de sistemas son referidos como geles particulados. En términos generales, estos sistemas muestran mayores parámetros reológicos conforme la fracción volumétrica efectiva sea mayor, ya que las fuerzas atractivas entre las partículas dispersas (flóculos) aumentan. La fracción volumen de un flóculo es mayor que la suma de las fracciones volumen de las partículas individuales (McClements, 2005). Además, la fracción volumen efectiva de los almidones en una dispersión aumenta conforme aumenta su hinchamiento (Bagley y Christianson, 1982).

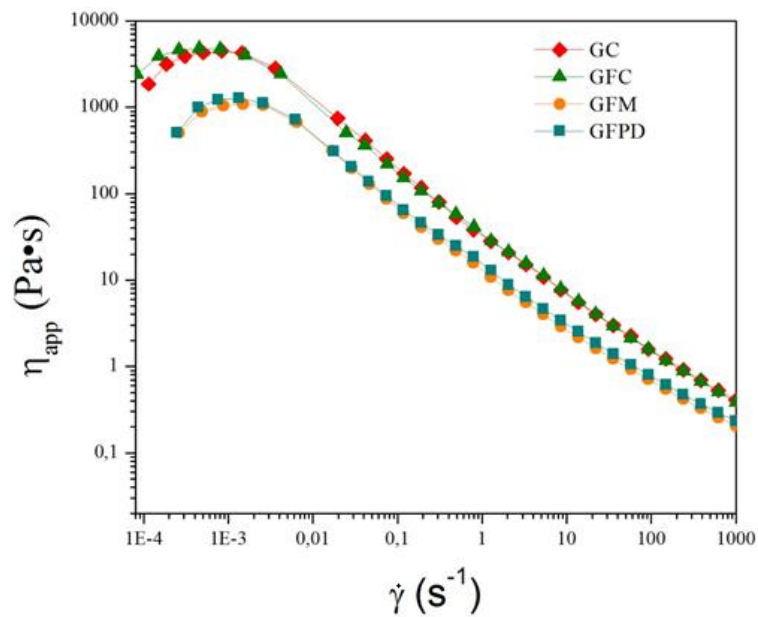


Figura 21. Curvas de flujo de los distintos geles.

GC: gel control, GFC: gel con fibra de chícharo, GFM: gel con fibra de maíz, GFPD: gel con povidexrosa.

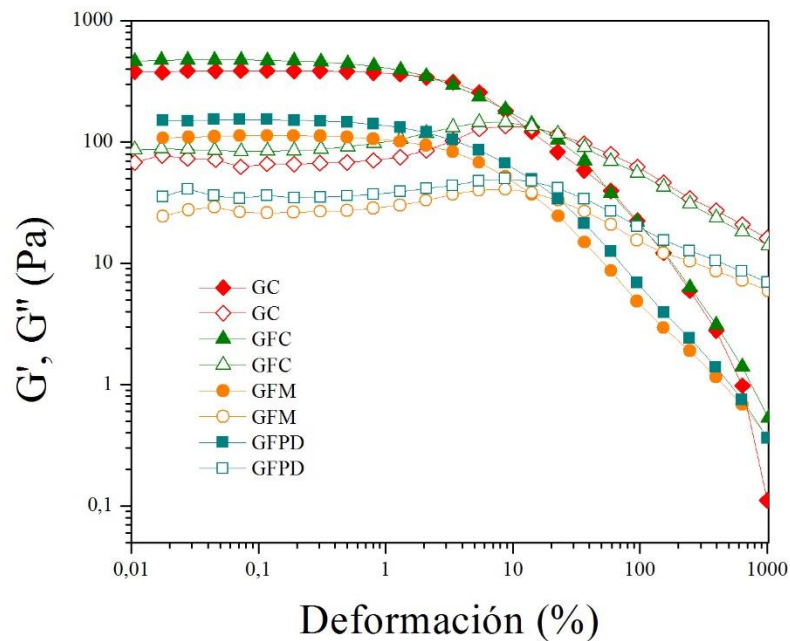


Figura 22. Barridos de deformación.

Variación de las propiedades reológicas de los distintos geles en función de la deformación (%). G' representada por símbolos rellenos y G'' por símbolos vacíos. GC: gel control, GFC: gel con fibra de chícharo, GFM: gel con fibra de maíz, GFPD: gel con povidexrosa.

Los geles particulados son materiales viscoelásticos y sus propiedades reológicas pueden ser descritas por dos parámetros: el módulo de almacenamiento (G'), que es una medida de su naturaleza elástica; y el módulo de pérdida (G''), que es una medida de su naturaleza viscosa (Lobato-Calleros et al., 2006).

Los barridos de deformación muestran que los geles exhibieron diferencias en su comportamiento reológico. Los datos de G' indican que la región viscoelástica lineal de todos los geles se extendió hasta aproximadamente una deformación % de 0.5 a 1 Hz de frecuencia. Todos los geles exhibieron un perfil similar caracterizado por una región lineal con un valor constante de G' a deformaciones % bajas, seguido por una inflexión hacia abajo abrupta en G' a deformaciones mayores. Tunick et al. (1990) reportaron que la inflexión sugiere una ruptura de la estructura gelada y que la cantidad de esfuerzo que el gel puede soportar antes de la ruptura está evidenciado por el desplazamiento en el punto de inflexión. Más aun, cuando las deformaciones exceden aquellas de la región viscoelástica lineal, los enlaces se rompen y reforman a tasas distintas dependiendo de la estructura interna de los geles, de manera que exhiben distintos valores de G' .

El módulo elástico en la región viscoelástica lineal exhibido por los geles fue de mayor a menor como sigue: $GFC > GC > GFPD > GFM$. Mayores valores de G' son indicativos de que existen interacciones más fuertes entre los elementos de la red tridimensional. Lo que es evidente al laminar la masa durante la elaboración de las pastas, ya que la masa de las PFC presentaron mayor dureza lo que requiere un mayor esfuerzo para laminarla la masa, también estas mismas fuertes interacciones se ven reflejadas en las pruebas de textura al incrementarse la dureza, cohesividad y firmeza observadas en las PFC, caso contrario para las PFPD y PFM donde la masa de estas formulaciones es menos dura, sin embargo son más elásticas y pegajosas, lo que también se vio reflejado en las pruebas de textura al disminuir la dureza, cohesividad y firmeza.

El comportamiento viscoelástico no-lineal comenzó para todos los geles alrededor de una deformación % de 0.4, independientemente de la magnitud de G' en la región viscoelástica lineal.

El comportamiento del módulo de pérdida (G'') versus deformación % de los geles mostró perfiles y tendencias similares a los de las curvas G' -deformación %, con la salvedad que exhibieron una inflexión hacia arriba seguida de una inflexión hacia abajo conforme la deformación % aumentó. Este fenómeno se conoce como un sobretiro débil en la deformación y es característico de asociaciones intermoleculares debido a puentes de hidrógeno principalmente entre moléculas poliméricas que presentan una estructura extendida (Ramírez-Santiago et al., 2012).

Los valores de los módulos de pérdida en la región viscoelástica lineal para los geles fueron en orden descendiente como sigue: $GFC > GC > GFPD > GFM$.

Por último, todos los geles exhibieron mayores valores de G' que de G'' en todo el rango de deformación % estudiado, lo que confirma que nuestros sistemas se comportaron predominantemente como redes entrelazadas elásticas tipo-gel.

6.5 Análisis físico.

6.5.1 Distribución de tamaño de partícula.

En la Figura 23 muestra la gráfica de tamaño de partícula de soluciones de fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 10% y calentadas a 93°C durante 10 min con agitación, se incluye los promedios de tres réplicas realizadas. Las curvas presentan diferencias entre sí. Se observa una similitud en las curvas que pertenecen a la fibra de maíz y povidexrosa presentando una distribución mono-modal, a diferencia de la fibra de chícharo con una distribución bi-modal por lo que el tamaño de los gránulos varió entre 0.3 a 130 μm , a diferencia de 0.8 a 5 μm y 1.05 a 8 μm para la fibra de

polidextrosa y maíz respectivamente. La distribución bi modal de la fibra de chícharo puede ser explicada por el contenido de fibra soluble- almidón y fibra no soluble, componentes reportados por el proveedor.

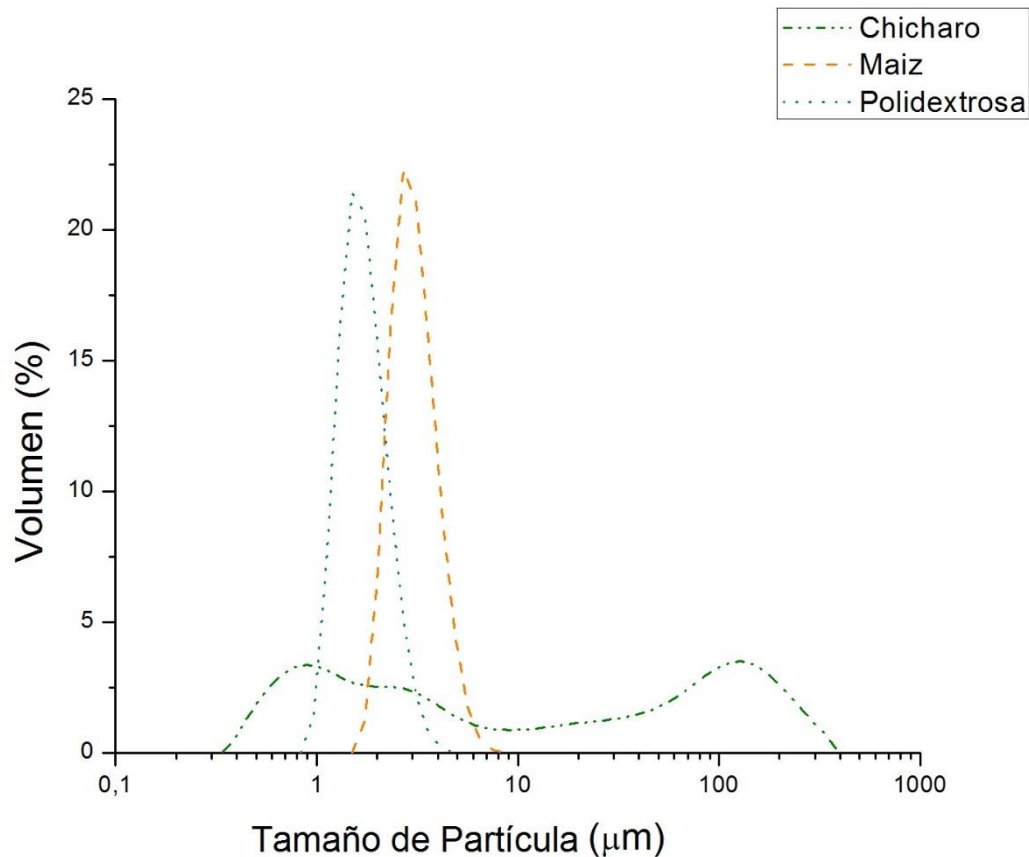


Figura 23. Tamaño de partícula de fibras.

La Figura 24 muestra la gráfica de tamaño de partícula de los gel control, geles de fibra de chícharo, maíz y polidextrosa al 10% (medidos en las curvas de flujo y barridos de amplitud) y los geles se formaron calentándolos a 93°C durante 10 min con agitación, se incluye los promedios de tres réplicas realizadas. Las curvas presentan diferencias entre sí. Sin embargo, los cuatro geles presentan una distribución tri-modal. El primer y segundo pico pueden ser atribuidos a la hinchazón parcial e incompleta de los gránulos de almidón también observados en soluciones

de almidón de plátano (Utrilla-Coello y col., 2014), ya que la matriz de proteína-fibra podría estar limitando el hinchamiento de los gránulos de almidón más pequeños y aumentando el de los gránulos más grandes. El tercer pico puede estar vinculado a la interacción de la fibra con algunos de los componentes de la sémola de trigo. El aumento significativo de este pico y la disminución del primer pico en los geles con fibra de maíz y povidexosa podría explicar la menor cohesividad y firmeza de las pastas con fibra de maíz y povidexosa con 18% de fibra (PFM₁₈ y PFPD₁₈) se desbaratan con más facilidad que la pasta control. Además estos resultados podrían proporcionarnos información sobre el tipo de estructura que se forma entre la sémola y las distintas fibras al hidratarse.

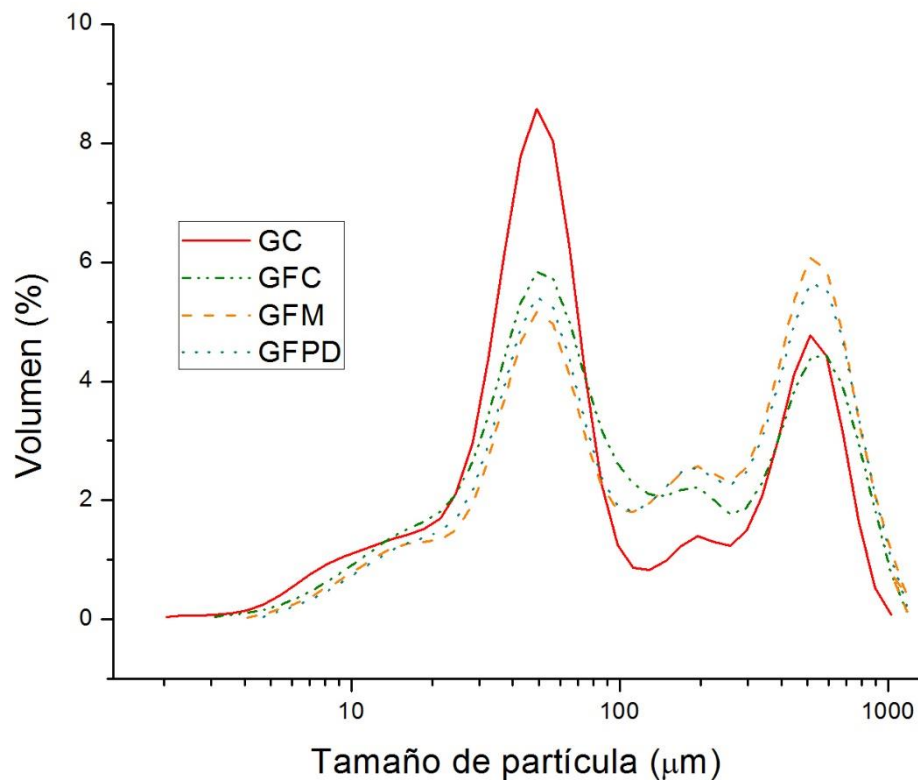


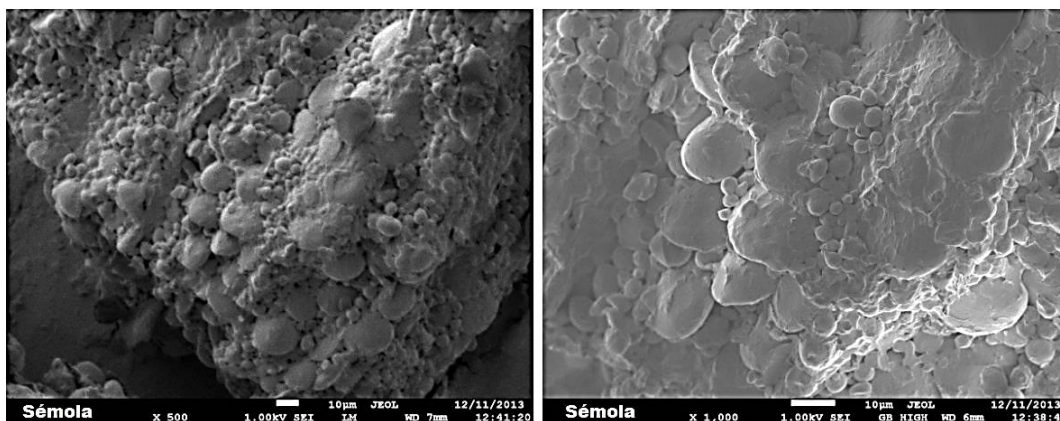
Figura 24. Tamaño de partícula de geles

6.5.2 Microscopía electrónica de barrido (MEB).

6.5.2.1 Micrografía de sémola y fibras utilizadas

En la Figura 25 podemos observar la microestructura de la sémola y las diferentes fibras utilizadas a 500x y 1000x. Se pueden observar formas y tamaños distintos.

La sémola muestra un estructura interna compacta con mucha presencia de almidones en la matriz de proteína, la morfología que presentan estos almidones son de tipo esféricos con dos tipos de tamaño, uno pequeño de 5-7 μm y uno grande de 10-20 μm de diámetro, esto también fue observado por Brennan y Tudorica (2008) y por Hager y col. (2012) en sémola de trigo. La microestructura de la fibra de chícharo muestra dos tamaños de almidón, de tipo circular (5-7 μm de diámetro) y alargada (de 14-16 μm de ancho por 20-31 μm de largo), estos almidones están incrustados en una matriz de fibra que los recubre. La microestructura de la fibra de maíz alisadas con fragmentos de diferentes tamaños entre 5 y 30 μm sobre una matriz de fibra. Por otro lado, la povidona muestra gránulos de forma esférica mayores a los 50 μm y de aspecto de superficie lisa.



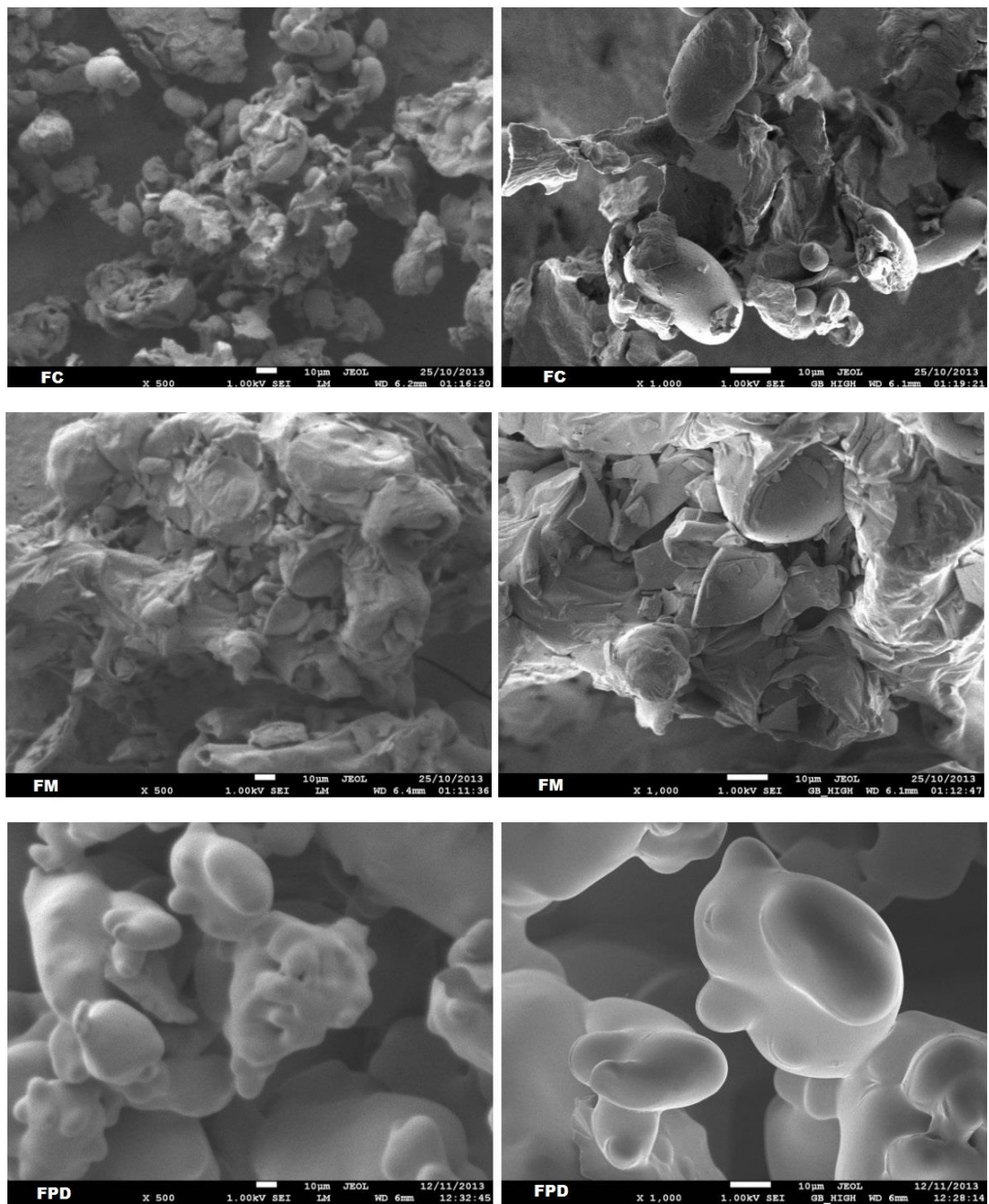
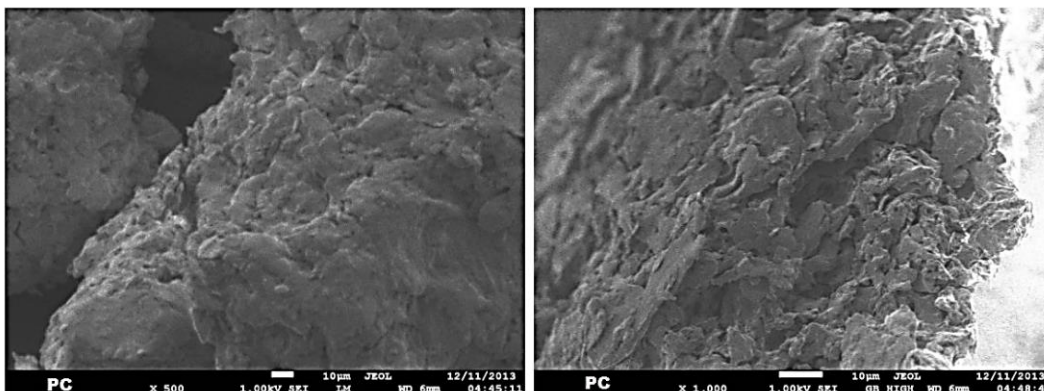


Figura 25. Micrografía electrónica de barrido a 500x y 100x de la sémola y fibras.

FC: fibra de chícharo FM: fibra de maíz FPD: fibra de polidextrosa.

6.5.2.2 Micrografía de pastas cocidas

La microestructura de PC, PFC₁₈, PFM₁₈ y PFPD₁₈ después de su cocción se ilustran en la Figura 26 a 500x y 1000x. Se puede observar que las pastas con fibra presentan una estructura más alisada y menos porosa en comparación a la pasta control, esto podría ser causado por una distribución más equitativa entre los tamaños de partículas comprendido entre 10 y 100 μ m y entre 300 y 1000 μ m, observadas en la Figura 24. Las imágenes de las pasta control (Figura 26) muestran una estructura compacta, con gránulos de almidón gelatinizado dentro de una matriz de proteína (Tudorica y col., 2002). Sin embargo la inclusión de fibra de chícharo al 18% aumenta la perturbación de la matriz de la pasta y la red de almidón-proteína-fibra, dando lugar a una estructura altamente porosa (PFC₁₈). Esta alteración de la estructura puede explicar la disminución de la elasticidad y adhesividad observado en la Tabla 15 y por tanto la calidad de la estructura global de la pasta. Por otro lado las microestructura de las pastas con fibra de maíz y povidexosa reduce la porosidad al recubrir la estructura almidón proteína de la sémola lo que podría explicar su menor hinchamiento al tener menor grado de absorción de agua (Tabla 11). Estudios reportados por Brennan y Tudorica (2008) demuestran que fibras solubles encapsulan a los almidones deteniendo la hinchazón de los gránulos de almidón de la parte central, mostrando aumento de las tasas de la retrogradación del almidón que los gránulos de almidón en la parte exterior de la pasta pueden tener hinchazón restringida. Esto se puede observar en las micrografías de las pastas con fibra de povidexosa.



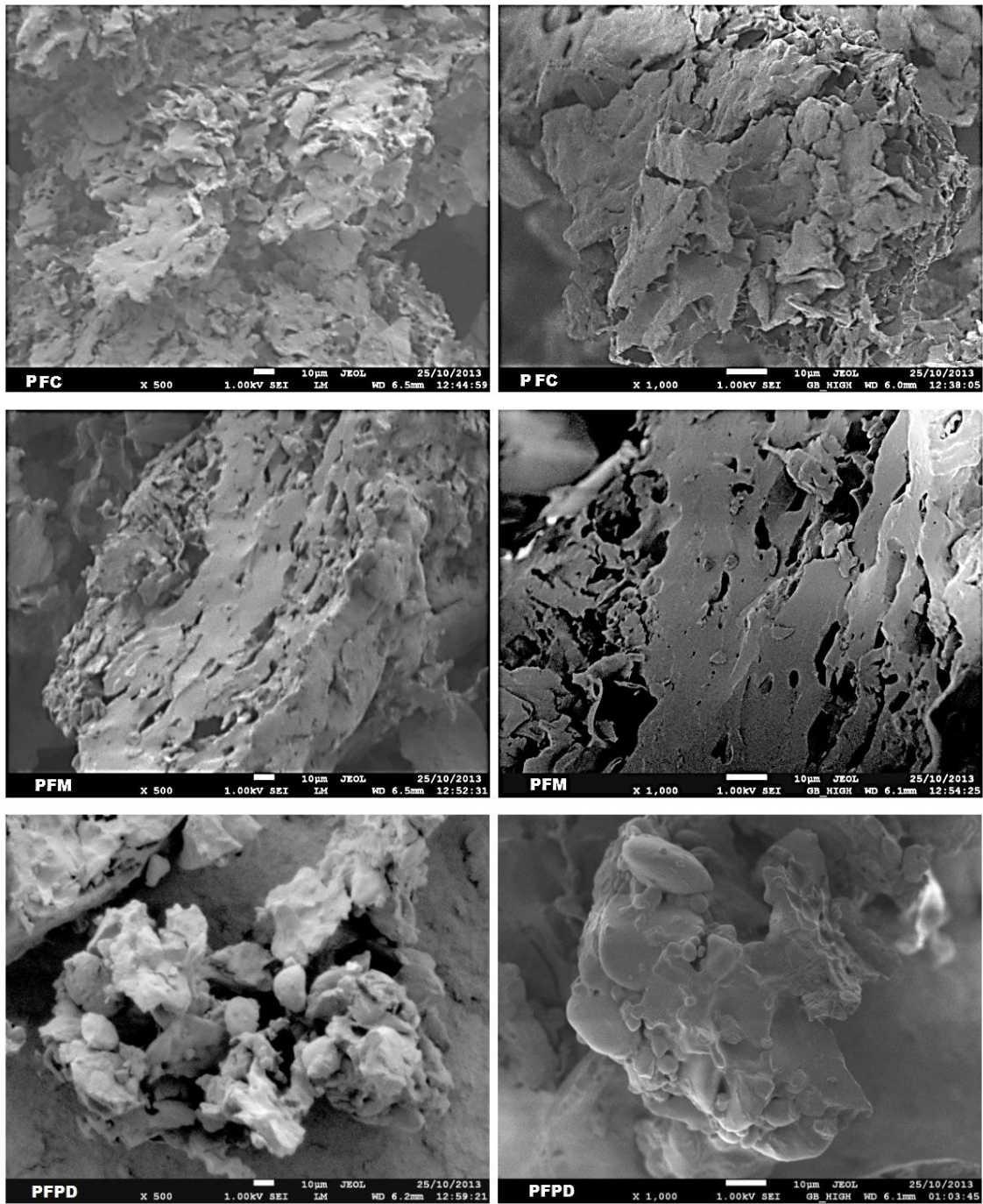


Figura 26. Micrografía electrónica de barrido a 500x y 100x (pastas con 18%)

PFC: Pasta con fibra de chícharo PFM: Pasta con fibra de maíz PFPD: Pasta con fibra de polidextrosa.

7 Conclusiones.

La adición de fibras en las pastas elaboradas disminuyó el contenido de humedad, proteína y grasa, además de aumentar el contenido de ceniza. Observándose un mayor efecto en las pastas con 18% de fibra. Generando así pastas que pueden ser incluidas en dietas donde el consumo de fibra es bajo.

Los resultados de las pruebas de cocción muestran que la presencia de fibra incrementó el tiempo óptimo de cocción en un intervalo de 7 a 14 minutos mostrando mayor efecto en aquellas pastas adicionadas con fibra de chícharo. En cuanto al volumen de las pastas, en todos los casos hubo un decremento por la presencia de fibra, lo mismo que para el grado de absorción de agua; mientras que para el índice de tolerancia al cocimiento, hubo un efecto positivo, ya que en todos los casos se mejoró el parámetro por la presencia de fibra, siendo mayor cuando la fibra adicionada fue la de chícharo.

Las pastas adicionadas con fibra de povidexrosa tuvieron un efecto favorable, respecto al color con el incremento de fibra al tener una mayor calificación que la pasta control, efecto contrario para las pastas adicionadas con fibra de chícharo y maíz.

La adición de fibra de chícharo aumentó el contenido de almidón disponible de las pastas formuladas (6-18%). Sin embargo las pastas con fibra de maíz y povidexrosa se caracterizaron por tener menor almidón disponible que la pasta control y la adicionada con fibra de chícharo.

Los resultados muestran que la presencia de la fibra dietaria en la pasta afecta la digestibilidad del almidón, posiblemente asociado con cambios en la estructura de los alimentos ya que el decremento en IH y por lo tanto en pIG fue dependiente de la dosis de fibra en las pastas y aquellas con un 18% de fibra de chícharo, maíz y povidexrosa parecen ser apropiadas para tener un producto con menor IG y para favorecer el consumo de fibra, conservando los parámetros de calidad de las pastas.

La adición con 18% de las fibras de maíz y povidexrosa tuvo un efecto negativo en la dureza, firmeza y elasticidad, caso contrario para la pasta con fibra de chícharo. La pasta con 18% de fibra de chícharo tuvo un menor impacto siendo estadísticamente igual a la pasta control en la mayoría de los parámetros de textura medidos.

Los geles elaborados al 10% presentaron características reológicas de geles particulados los cuales fueron útiles para entender las interacciones entre los distintos componentes del sistema y relacionarlos con la textura de las pastas, ofreciendo una mayor comprensión de estos parámetros.

La medición de tamaño de partícula de los geles mostró dos grupos de tamaño de las partículas, uno está comprendido entre 10 y 100 μm y el otro entre 300 y 1000 μm . Sin embargo, el GC presento la mayor cantidad de partículas en el intervalo más pequeño mientras que el resto de los geles se observó distribución más equitativa en los dos intervalos.

Los análisis de microscopía electrónica de barrido revelaron el acomodo de los gránulos de almidón en las pastas con 18% de fibra. Se observaron estructuras con menor porosidad en las pastas adicionadas con fibra de maíz y povidexrosa.

Se logró formular tres pastas funcionales, las cuales pueden ser recomendadas en dietas con regímenes especiales. Las pastas con 18% de fibra de chícharo y povidexrosa tienen buenas características culinarias, texturales y con índice glucémico reducido, además la pasta con 9.3% de povidexrosa aunque no se le midió textura también tiene buenas característica culinarias y un destacable reducción de índice glucémico. Estas tres pastas podrían ser consideradas como una opción de alimento para personas con problemas de diabetes mellitus tipo II y para aquellas personas que desean cuidar su salud consumiendo alimentos más saludables.

8 Bibliografía

A.A.C.C. 2000. Approved Methods of the American association of Cereal Chemists. Saint Paul, American Ass. Cereal Chemist.

A.O.A.C “Asociation of Official analytical Chemist”. 2001. “Report of definition of dietary fiber”. Cereal Food World 46(3):112-124

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 17 ed. Washington, D.C., USA,

Aguirre Quezada, J. P. 2012. El reto de la obesidad infantil en México. Centro de estudios sociales y de opinión Pública. Núm. 133. 49p

Anderson E.T. y Berry B.W. 2006. Sensory, Shear, and Cooking Properties of Lower-Fat Beef Patties Made with Inner Pea Fiber. J Food Science. 65(5):805-810

Ao Z., Quezada-Calvillo R., Sim L., Nichols B. L., Rose D. R., Sterchi E. E. and Hamaker B. R. 2007. Evidence of native starch degradation with human small intestinal maltase-glucoamylase (recombinant). FEBS Letters, 581, 2381-2388.

Archaeobotany-Wiki. 2009. Starch – Recognition. University of Sheffield. [Fecha de consulta 09/10/13] Disponible en: <http://archaeobotany.dept.shef.ac.uk/wiki/index.php/Image:PotatoIKI.jpg>

Arteaga L. A. 2006. El Índice glicémico. Una controversia actual. Nutrición Hospitalaria. 21: 55-60.

ASERCA. Situación actual del trigo. México, 2010 [Fecha de consulta 20/09/13] Disponible en: <http://www.infoaserca.gob.mx/fichas/ficha31-Trigo201008.pdf>

Bagley, E.B. y Christianson, D.D. 1982. Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity effect of cooking time, temperature and concentration. *Journal of Texture Studies* (13):115-126.

Barranco, J., Espinal, G., Canela, A. y Bell, M. 2004. "Índices y respuestas glucémicas e insulínicas de mezclas de arroz con leguminosas (moros)", *Ciencia y Sociedad*, 29(2): 302-320.

Beristain CI, Cruz-Sosa F, Lobato-Calleros C, Pedroza-Islas R, Rodríguez-Huezo ME, Verde-Calvo JR. 2006. Applications of soluble dietary fibers in beverages. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 5(1): 581-95.

Björck I. and Asp N.G. 1994. Controlling the nutritional properties of starch in foods –a challenge to the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 5(7):213-218

Brennan C. S. y Tudorica C. M. 2007. Fresh pasta quality as affected by enrichment of nonstarch polysaccharides. *Journal of Food Science*. 72, 659-665.

Brennan, C. S.; Blake, D. E.; Ellis, P. R.; Schofield, J. D. 1996. Effects of guar galactomannan on wheat bread microstructure and on in Vitro and ViVo digestibility of starch from pasta. *Journal of Cereal Science*. 24: 151-160.

Brennan. C. S. Tudorica C. M. 2008. Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science & Technology*. 43(12):2151–2162.

Cabo-Soler J. R. 2007. Dieta y longevidad saludable. *Alimentación Nutrición y Salud* 14(2): 47-58.

Camacho R., N.A.; Días G., K.M.; Santilla H., M.R. Velázquez M., O.C. 2004. Manual de prácticas. Productos de Cereales y leguminosas. Editorial FQ UNAM. México. 3° Edición. 221.

Cherbut C., des Varannes S., Schnee M., Rival M., Galmiche J.P. & Delort- Laval J. 1994. Involvement of small intestinal motility in blood glucose response to dietary fibre in man. *British Journal of Nutrition*. 71: 675-685.

Cleary L. and Brennan C. 2006. The influence of a (1→3) (1→4)-β-D-glucan rich fraction from barley on the physico-chemical properties and in vitro reducing sugars release of durum wheat pasta. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 910-918.

CNN México, *México es el país 'más obeso' del mundo, según un informe de la ONU*. 2013 [en línea] CNN: México, [Fecha de consulta 15/09/13] Disponible en: <<http://mexico.cnn.com/salud/2013/07/11/mexico-es-el-pais-mas-obeso-del-mundo-segun-un-informe-de-la-onu> >

Englyst H. N., Veenstra J. and Hudson G. J. 1996. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. *British Journal of Nutrition*, 75, 327-337.

Englyst K. N. y Englyst H. N. 2005. Carbohydrate bioavailability. *British Journal of Nutrition*, 94, 1-11.

Englyst KN, Vinoy S, Englyst HN, & Lang V. 2003. Glycaemic Index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *British Journal of Nutrition*; 89: 329-340

Escamilla E. A., 2001. Métodos para evaluar la calidad en trigos cristalinos (*triticum durum*) semolinas y pastas alimenticias. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UAM. México.

Escudero Álvarez, E., González Sánchez, P., 2006. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72p

Fabriani, G y Lintas, C. 1988. *Durum: chemistry and technology*. Capítulo 10. Published by the American Association of food Chemists, inc St. Paul, Minnesota, E.U.A.

FAO. 1999. *Los carbohidratos en la nutrición humana*. Roma. 152p

Fardet A., Hoebler C., Baldwin P. M., Bouchet B., Gallant D. J. and Barry J. L. 1998. Involvement of the protein network in the in vitro degradation of starch from spaghetti and lasagna, a microscopic and enzymic study. *Journal of Cereal Science*. 27: 133-145.

Fennema, O.R. 2000. *Química de los alimentos*. Acribia editorial S.A. Zaragoza España. 2º Edición. 1258p

Fu B., Wang J., Roturier J.M., Tang Z., Li H., Wei G., 2008. Determination of total dietary fiber in selected foods containing resistant maltodextrin by a simplified enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: interlaboratory study in China. *Journal of AOAC International*, 91(3):614-621.

Fu B., Wang J., Roturier J.M., Tang Z., Li H., Wei G., 2008. Determination of total dietary fiber in selected foods containing resistant maltodextrin by a simplified enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: interlaboratory study in China. *Journal of AOAC International*, 91(3):614-621.

García, M. G. S., Gastélum, A. G. C., Gramont, M. I. S., & Rubio, A. R. I. 2009. Viscosidad extensional biaxial en espagueti cocido y su relación con firmeza. *Biotecnia* 8(1):3-10

Gattás V, Barrera G, Leiva L, Maza M.P, Bunout D, Steenhout P, Klassen P, Voss T &Hirsch S. 2007. Determinación de los índices glicémicos y de insulina en fórmulas para alimentación enteral en adultos sanos. *Revista Médica de Chile*;137: 879-884.

Gil Á., 2010. Tratado De Nutrición. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Editorial Médica Panamericana. 2º Edición. Madrid (2):1032

Gómez, E. Guerra, M. Arias, J. Mujica, D. Gerrero, F. 2011. Elaboración de una pasta de harina compuesta utilizando sémola e hidrolizado de germen desgrasado de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2(1):73-84.

Goñi I. and Valentín-Gamazo C. 2003. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers. *Food Chemistry*, 81, 511-515.

Goñi, I. García-Alonso, A. y Saura-Calixto, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3): 427-437.

González Hita, M.; Sandoval Rodríguez, A. S.; Román Maldonado, S.M.; Panduro, Cerda, A. (2001). Obesidad y diabetes mellitus tipo 2. *Investigación en Salud*, Abril-Julio, 54-60p.

Granfeldt Y, Wu X yBjörck I. 2006. Determination of glycemic index (GI); some methodological aspects related to the analysis of carbohydrate load and characteristics of the previous evening meal. *EuropeanJournal of ClinicalNutrition*; 60: 104-112.

Granito M. Torres A. y Guerra M. 2003. Desarrollo y Evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *InterCiencia*. 28(7):372-379.

Granito M. y Ascanio V. 2009. Desarrollo y transferencia tecnológica de pastas funcionales extendidas con leguminosas. Archivos Latinoamericanos de Nutricion. 59(1):71-76

Herken E. N., Ibanoglu S., Öner M. D., Bilgiçi N. and Güzel S. 2007. Effect of storage on the phytic acid content, total antioxidant capacity and organoleptic properties of macaroni enriched with cowpea flour. Journal of Food Engineering, 78, 366-372.

Holm J., Lundquist I., Björck I., Eliasson A. C. and Asp N. G. 1988. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. The American Journal of Clinical Nutrition. 47: 1010-1016.

Holm, J., Björck, I., Asp, N. G., Sjöberg, L. B. and Lundquist, I. 1985. Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Sciences*, 3: 193-206,

Holm, J., Björck, I., Asp, N. G., Sjöberg, L. B. and Lundquist, I. 1985. Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Sciences*, 3:193-206.

Horowitz M., Edelbroek M. Wishart J. y Straathof J. 1993. Relationship between oral glucose tolerance and gastric emptying in normal healthy individuals. *Diabetologia*. 36: 857-862.

INEGI. 2012. Estadística a propósito del día mundial de la diabetes. Datos nacionales, p.1-8,

International Diabetes Federation (IDF). 2013. *Diabetes y alteración de la tolerancia a la glucosa (ATG)* IDF: Bélgica, [Fecha de consulta 15/09/13] Disponible en: <<http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/es/la-carga-mundial?language=es>>

Jenkins D. J. A., Wolever T. M. S., Taylor R. H., Barjer H., Fielden H., Baldwin J. M., Bowling A. C., Newman H. C., Jenkins A. L. and Goff D. V. 1981. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34: 362-366.

Kill R.C. y Turnbull, 2004. *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola.*, Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.

Lefranc-Millot C., Wils D., Roturier J.M., Le Bihan C., Saniez-Degreve M.H. 2009 Nutriose® soluble fiber. Capítulo 3 en: *Fiber Ingredients: Applications and Health Benefits*. Sungsoo-Cho S. Priscilla S. CRC Press. 19-40

Lobato-Calleros, C., Rodriguez, E., Sandoval-Castilla, O., Vernon-Carter, E.J., Alvarez-Ramirez, J. 2006. Reduced-fat white fresh cheese-like products obtained from $W_1/O/W_2$ multiple emulsions: Viscoelastic and high-resolution image analyses. *Food Research International* 39:678-685.

Martinez, C. S., Ribotta, P. D., Leon, A. E., & Anon, M. C. 2007. Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 38(6):666-683.

McClements, D.J. 2005. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Monroy-Torres, R., Reeves-Aguirre, C., Naves-Sánchez, J. y Macías, A. E, 2008. "Influencia de una dieta individualizada en el control de la diabetes mellitus gestacional". *Ginecología y Obstetricia de México*, 76(12): 722-729.

Mourot J., Thouvenot P., Couet C, Antione M. J., Krobicka A and Debry G. 1988. Relationship between the rate of gastric emptying and glucose and insulin responses to starchy foods in young healthy adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 48: 1035-1040.

NOM-086-SSA1-1994 Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. Fecha de publicación: 26 de junio de 1996.

Orea, E. 1999. Elaboración de una pasta para sopa, utilizando diferentes aditivos químicos alimenticios. Universidad La Salle.

Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Mendoza-Vinalay, M., Tovar, J. and Bello-Pérez, L. A., 2008. Pasta added with chickpea flour: chemical composition, in vitro starch digestibility and predicted glycemic, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6(1):6-12.

Ospina M.J.E., 2001. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Universidad Nacional de Colombia .191p

Pagani M., Luciano M., Mariotti M., 2007. Traditional italian products from wheat and other starchy flours. En: handbook of food products manufacturing: Principles, bakery, beverages, cereals, cheese, confectionary, fats, fruits and functional foods. Wiley-Intersciences. (1):1131

Peña B.R.J., Pérez, H. P., Villaseñor, M. H. E., Gómez, V.M.M., Mendoza L.M.A., Monterde R.G., 2007. Calidad de la cosecha de trigo en México: Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Consejo Nacional del Sistema Producto Trigo (CONASIST). México. 24p

Ramírez-Santiago, C., Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Vernon-Carter, E.J. 2012. Viscoelastic properties and overall sensory acceptability of reduced-fat Petit-Suisse cheese made by replacing milk fat with complex coacervate. *Dairy Science and Technology* (92): 383–398.

Rayas-Duarte, P., Mock, C.M. y Satterlee, L.D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chem.* 73, 381–387.

- Roquette Frères.2009. Pea Fiber I50M. Technical Bulletin. Lestrem, France.
- Rosin P.M., Lajolo F. M. and Menezes E. W. 2002. Measurement and characterization of dietary starches. *Journal of Food Composition and Analysis*. 15: 367-377.
- Sajilata M. G., Singhal R. S. Kulkarni P. R. 2006. Resistant Starch A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 1-17.
- Samaan, J., El-Khayat, G., Manthey, F., Fuller, M. and Brennan, C., "Durum wheat quality: II. The relationship of kernel physicochemical composition to semolina quality and end product utilization", *International Journal of Food Science and Technology*. Vol. 41, No. 2, p. 47-55, 2006.
- Serna-Saldívar, S.R. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales.A.G.T. Editor, S.A., México, D.F., 521 p.
- Serna-Saldívar; S R.O. 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. AGT editor, S.A. México.
- SIACON. Sistema de Información Agrícola de Consulta, 2013. [en línea] [Fecha de consulta 10/10/13] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426>
- Slaughter L. S., Ellis R. P and Butterworth J. P. 2001. An investigation of the action of porcine pancreatic α -amylase on native and gelatinised starches. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1525, 29-36.
- Soto-Azurduy V. S. 2010 Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*musa cavendishii*) y banana verde (*musa paradisíaca*). *Revista Boliviana de Química* 27(2):94-93

Stowell J.D., 2009. Polydextrose. Capítulo 9 en: *FiberIngredients: Applications and HealthBenefits*. Sungsoo-Cho S. Priscilla S. CRC Press. 173-204

Susanna S. y Prabhasankar P. 2012. Quality, microstructure, biochemical and immunochemical characteristics of hypoallergenic pasta. *Food SciTechnol Int.* 18(4):403-11

Tester R. F., Karkalas J. y Qi, X. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165.

Torres A. Rodríguez M. Guerra M. y Granito M. 2009. Factibilidad tecnológica de incorpora germen desgrasado de maíz en la elaboración de pasta corta. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 22 (1): 25-31

Torres A., Frías J., Granito M. and Vidal-Valverde C. 2007a. Germinated Cajanuscajan seeds as ingredients in pasta products: chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry*, 101, 202-211

Tudorica C.M., Kuri V., Brennan C.S. 2002. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2):347-356.

Tunick, M. H., Nolan, E. J., Shieh, J. J., Basch, J. J., Thompson, M. P., Maleeff, B. E., Holsinger, V.H. 1990. Cheddar and cheshire rheology. *Journal of Dairy Science* (73):1671–1675.

Valencia F.E. Millán L.J. Estepa C.M. Botero S. 2008. Efecto de la sustitución con polydextrosa y CMC en la calidad sensorial de tortas con bajo contenido de sacarosa. *Revista Lasallista de Investigación*, Julio-Diciembre, 63-67.

Valencia, F.E. y M.O. Román. 2004. La fibra dietaría como alimento funcional. *Vitae* 11 (2):12-17.

Vasiliu, M., & Navas, P. B. 2009. Propiedades de cocción, físicas y sensoriales de una pasta tipo fetuchine elaborada con sémola de trigo durum y harina deshidratada de cebollín (*Allium fi stulosum* L.).

Wolever TM, Brand-Miller JC, Abernethy J, Astrup A, Atkinson F, Axelsen M, Björck I, Brighenti F, Brown R, Brynes A, Casiraghi MC, MurielleCazaubiel, Dahlqvist L, Delport E, Denyer GS, Erba D, Frost G, Granfeldt Y, Hampton S, Hart VA, Ha¨tönen KA, Henry CJ, Hertzler S, Hull S, Jerling J, Johnston KL, Lightowler H, Mann N, Morgan L, Panlasigui LN, Pelkman C, Tracy Perry, Pfeiffer AF, Pieters M, Ramdath DD, Ramsingh RT, Robert SD, Robinson C, Sarkkinen E, Scazzina F, Sison DCD, Sloth B, Staniforth J, Tapola N, Valsta LM, Verkooijen I, Weickert MO, Weseler AR, Wilkie P & Zhang J. 2008. Measuring the glycemic index of foods: interlaboratory study. *American Journal of clinical nutrition*; 87: 247-257.

Wolever. 2006. Glycaemic index A physiological classification of Dietary Carbohydrate. CABI Publishing- CAB international.