



**Tecnológico de Estudios Superiores de
Ecatepec**



Tesis

**“Evaluación de la digestibilidad de
proteínas en pastas alimenticias
adicionadas con fibras”**

**Que para obtener el grado de
Maestra en Ciencias en Ingeniería Bioquímica**

Presenta

IBQ. Nayely Valeriano García

Directora

Dra. María Eva Rodríguez Huevo

Asesores

Dra. Ruth Pedroza Islas

Dr. Alfonso Totosaus Sánchez

Ecatepec de Morelos, abril 2021.



SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA





GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

AVISO DE TERMINACIÓN DE PROYECTO
DE TESIS

FO-TESE-DA-89

TIT04-ANEXO PM



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

Folio: MCIBQ/2018/VAGN940425

Fecha: 30 de abril del 2021

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis:
“Evaluación de la digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras”,
que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

VALERIANO

Apellido paterno

GARCÍA

Apellido materno

NAYELY

Nombres (s)

Matrícula: **201822813**

la Directora de Proyecto: **Dra. María Eva Rodríguez Huevo** da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

Dra. Rguez. Hzo.

Dra. María Eva Rodríguez Huevo
Directora

ATOTOSAUS

Dr. Alfonso Totosaus Sánchez
Asesor

Ruth Pedroza

Dra. Ruth Pedroza Islas
Asesora

Elaboró: Dra. María Eva Rodríguez Huevo <i>Dra. Rguez. Hzo.</i>	Revisó: Dr. Rafael Alejandro Ángel Guápío <i>Rafael Guápío</i> Coordinador de Posgrado	Vo. Bo.: M. en I.Q. Judith Cervantes Ruiz <i>Judith Cervantes Ruiz</i> Jefa de División
---	---	--



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE
PROYECTO DE TESIS

FO-TESE-DA-90

TIT05-ANEXO PM



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

Fecha: 30 de abril del 2021

Datos generales

Nombre del alumno:

VALERIANO

Apellido paterno

GARCÍA

Apellido materno

NAYELY

Nombres (s)

Matrícula: **201822813**

PROYECTO: **"Evaluación de la digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras"**

DIRECTOR: **Dra. María Eva Rodríguez Huevo**

Dictamen:

Con base en el registro No. **MCIB/2018/VAGN940425** correspondiente al periodo escolar **2018-20**, asignado al proyecto de tesis **"Evaluación de la digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras"** 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

Maria R. Huevo

Dra. María Eva Rodríguez Huevo
Directora

ATOTOSAUS

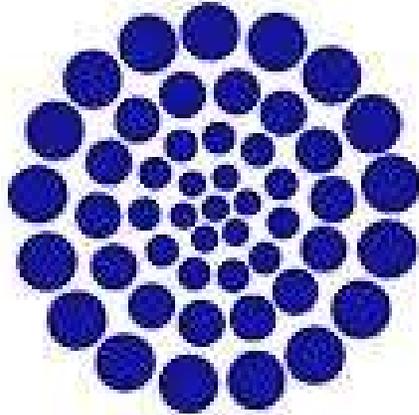
Dr. Alfonso Totosaus Sánchez
Asesor

Ruth Pedroza

Dra. Ruth Pedroza Islas
Asesora

Elaboró: Dr. Rafael Alejandro Ángel Cuapio Coordinador de Posgrado	Revisó y Visto Bueno: M en I.Q. Judith Cervantes Ruiz Jefa de División	Enterado: M. en C. Armando Alcalde Martínez Director Académico
--	--	--

[Handwritten signature]



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

La Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec incorporada al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) en conjunto con la que suscribe Nayely Valeriano García agradece la Beca Nacional No. 920747 otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la realización de la presente investigación.

Agradecimientos



Dr. Jaime Eduardo Vernon Carter de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, gracias por su valioso apoyo para la realización de pruebas fisicoquímicas y de textura en el laboratorio de Bioprocesos.



Dra. Eva Rodríguez Huevo, gracias por abrirme las puertas del laboratorio de alimentos en donde pase dos años de investigación, también agradezco su apoyo, compromiso y sobre todo su confianza.



M. en C. en I.Q. Judith Cervantes Ruiz, gracias por la invitación al posgrado del cual me siento orgullosa, es grato para mí haber trabajado en el laboratorio de Alimentos del cual es responsable.

Finalmente agradezco a mis asesores de tesis; Dr. Alfonso Totosaus Sánchez & Dra. Ruth Pedroza Islas, por sus aportaciones a esta investigación.

Dedicatoria

A todos los jóvenes trabajadores, optimistas, talentosos y sobresalientes que todos los días a pesar de las adversidades se levantan a dárselo todo, con el único objetivo de ser mejores personas, mejores profesionistas y por dejar una huella y precedente para las próximas generaciones.

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Justificación	3
4. Objetivos.....	4
4.1 Objetivo general	4
4.2 Objetivos específicos.....	4
5. Hipótesis.....	4
6. Antecedentes.....	5
6.1 Pastas alimenticias.....	5
6.1.2 Tipos de pastas	5
6.1.3 Características fisicoquímicas.....	6
6.1.4 Características sensoriales	6
6.1.5 Características nutricionales	6
6.2 Trigo.....	7
6.2.1 Estructura y composición del grano de trigo.....	7
6.2.2 Sémola de trigo.....	8
6.3 Almidón	10
6.3.1 Amilosa	10
6.3.2 Amilopectina.....	11
6.4 Digestibilidad de hidratos de carbono.....	11
6.4.1 Fase Intraluminal	12
6.4.2 Fase parietal.....	12
6.5 Fibra dietética.....	13
6.5.1 Fibra soluble	14
6.5.2 Fibra insoluble	14
6.5.3 Fibra de maíz.....	14
6.5.4 Fibra de chícharo.....	16
6.5.5 Polidextrosa	16
6.6 Digestibilidad de proteínas	18
6.6.1 Importancia de la digestibilidad	18
6.6.2 Proceso de digestión de proteínas.....	19
7. Materiales y métodos.....	21
7.1 Elaboración de pastas.....	21
7.2 Pruebas de cocción.....	25
7.2.1 Tiempo óptimo de cocción.....	25

7.2.2 Grado de absorción de agua.....	25
7.2.3 Incremento de volumen.....	25
7.2.4 Sólidos totales	26
7.2.5 Índice de tolerancia al cocimiento	26
7.3 Pruebas fisicoquímicas.....	27
7.3.1 Humedad	27
7.3.2 Ceniza	27
7.3.3 Lípidos	27
7.3.4 Proteína	28
7.3.5 Fibra dietética total.....	28
7.4 Análisis del Perfil de Textura (APT).....	30
7.5 Análisis físico: color.....	30
7.6 Digestibilidad de proteínas	31
7.7 Análisis estadístico.....	32
8. Resultados y Discusión.....	32
8.1 Pruebas de cocción.....	32
8.2 Fisicoquímicas.....	35
8.3 Análisis de Perfil de Textura (APT).....	37
8.4 Color	40
8.5 Digestibilidad de proteínas	42
Conclusiones	43
Referencias	44
ANEXO 1	50

Índice de figuras

Figura 1. Estructura del grano de trigo.....	8
Figura 2. Harina y sémola de trigo.	9
Figura 3. Enrollamiento helicoidal de la amilosa.	11
Figura 4. Estructura química de la amilopectina.....	11
Figura 5. Estructura química - Dextrina NUTRIOSE® FM10.....	15
Figura 6. Estructura química – povidextrina DANISCO	17
Figura 7. Diagrama de trabajo.	21
Figura 8. Diagrama de bloques para la elaboración de pastas alimenticias adicionadas con fibra.	22
Figura 9. Pastas cortadas en 5 cm antes de cocción.	23
Figura 10. Pastas cortadas en 5 cm después de cocción.	24

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de pastas.....	5
Tabla 2. Características fisicoquímicas de pasta seca.....	6
Tabla 3. Composición nutricional de pastas alimenticias	7
Tabla 4. Propiedades de cocción de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.	33
Tabla 5. Composición química de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.	37
Tabla 6. Análisis de Perfil de Textura de pastas alimenticias con fibra.	38
Tabla 7. Resultados de color de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.	41

Índice de graficas

Grafica 1. Digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras.....	42
---	----

1. Resumen

La importancia de la fibra dietética en la dieta humana está ampliamente aceptada y, durante años, se han realizado diversas investigaciones relacionadas con el enriquecimiento de productos alimenticios. Uno de ellos ha sido la pasta alimenticia, un alimento de la canasta básica mexicana que consume la mayoría de la población en al menos uno de los tres alimentos fuertes del día y que puede representar un vehículo conveniente para incorporar fibra dietética en la dieta de las personas.

Para evaluar la digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias con fibra, se elaboraron 10 pastas; un control PC (100% sémola de trigo) y tres adicionadas con fibra de chícharo (PCH), maíz (PM) y povidexrosa (PP) al 6, 12 y 18 %. La digestibilidad de proteínas disminuyó significativamente ($p < 0.05$) al adicionar fibra en los diferentes porcentajes. A mayor porcentaje de fibra de chícharo, maíz o povidexrosa en la formulación, menor porcentaje de digestibilidad. Las PP, mostraron el porcentaje más bajo de digestibilidad 67.62%, 46.65%, 25.98% para el 6, 12 y 18 por ciento de fibra adicionada respectivamente en comparación a la PC (91.81 %), PCH y PM presentaron un porcentaje de 32.40 % y 54.04% cuando fueron sustituidas al 18 por ciento. Además se evaluaron propiedades fisicoquímicas, de textura y color en las diferentes pastas. El contenido de humedad y proteína disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en las pastas adicionadas con fibra en comparación a la pasta control, mientras que el contenido de cenizas y fibra aumentaron significativamente. En cuanto al contenido de grasa no hubo diferencia significativamente ($p < 0.05$) entre la PC y las pastas adicionadas. En las pruebas de cocción se encontró una disminución significativa en el tiempo óptimo de cocción, índice de tolerancia al cocimiento, incremento de volumen y grado de absorción de agua en todas las pastas adicionadas con fibra. Sin embargo, al incrementar el contenido de fibra 6, 12 y 18% aumento significativamente la concentración de sólidos disueltos en agua. Respecto al Análisis de Perfil de Textura (APT), la dureza y adhesividad en la PC fue significativamente menor en comparación a las pastas adicionadas con fibra. La elasticidad, cohesividad y masticabilidad incrementaron significativamente al aumentar la cantidad de fibra de 6 a 18%. Finalmente, en cuanto al color, se vio afectado por la sustitución de la sémola en PCH al 6, 12 y 18%, observándose una disminución significativa ($p < 0.05$). Sin embargo, esta variación de color en pastas adicionadas con fibra no es penalizada normalmente por los consumidores, ya que generalmente asocian la pasta rica en fibra dietética con un color más oscuro.

2. Introducción

La pasta es un producto alimenticio tradicional elaborado a base de cereales (*Triticum durum*), de alto consumo debido a su conveniencia, palatabilidad, bajo aporte de grasa y sodio y baja respuesta glicémica (Jenkins et al., 1987, Araya et al., 2003). Además es atractiva al consumidor por su bajo costo, larga vida útil y fácil preparación. Puede ser consumida por mujeres y hombres de todas las edades y de todos los sectores de la población, lo que hacen de este un producto adecuado para enriquecerse con ingredientes funcionales de diversos tipos y orígenes (Busto et al., 2015). Sin embargo la pasta de trigo es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de grasa, fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína, (Antognelli ,1980). Cuando se consume enriquecida con huevo o en combinación con carne, se incrementa su valor nutricional, pero también su costo.

Actualmente se desarrollan múltiples tipos de pasta en función de los ingredientes utilizados en su elaboración. En ese sentido, diversos estudios (Aguilar et al. 1997; Oropeza, 1999; Witting et al. 2002; Granito et al., 2003; y Sozer et al. 2008), han sido orientados hacia la elaboración de este tipo de alimento, utilizando harinas de cereales y oleaginosas, variedades de leguminosas, carne, huevo o vegetales para mejorar las características nutricionales en cuanto a proteínas y aminoácidos esenciales. Dentro de los más utilizados actualmente en la elaboración de pastas se señalan la espinaca, acelgas, brócoli, tomate, zanahorias y remolachas. La adición de especias, puede contribuir en la aparición de olores y colores distintos a los acostumbrados en las pastas tradicionales y que pueden ser de gran aceptación por el consumidor, además de enriquecer y fortalecer al producto con nutrientes como los carotenos, carotenoides y minerales. En cuanto al desarrollo de pastas con fines funcionales, se han utilizado fibras provenientes del maíz, chícharo, caña, cebada, avena, etc., que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos y llegan intactas al colon donde algunas pueden ser hidrolizadas y fermentadas por la flora colónica, generando beneficios para la salud (Dietary ,2001).

3. Justificación

Las proteínas son macromoléculas que desempeñan el mayor número de funciones en las células de los seres vivos. Forman parte de la estructura básica de tejidos (músculos, órganos, piel, etc.), durante todos los procesos de crecimiento y desarrollo, crean, reparan y mantienen los tejidos corporales; además desempeñan funciones metabólicas actúan como, enzimas, hormonas y anticuerpos (Garrett et al., 2004). Cada proteína está formada por una larga cadena lineal de aminoácidos (aa) unidos por un enlaces peptídicos. Éstos se encuentran formados de un grupo amino (NH_2) y un grupo carboxilo (COOH), enlazados al mismo carbono de la molécula. Según la configuración espacial (primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria) que adopte una determinada secuencia de aminoácidos, sus propiedades pueden ser totalmente diferentes, como consecuencia, realizar diferentes funciones (McKee et al., 2003).

Prácticamente todos los alimentos contienen proteínas, sin embargo el aprovechamiento de esta dependerá de su cantidad, calidad, y biodisponibilidad. Respecto al primero se ha sugerido que en los alimentos que forman la base de la dieta, el porcentaje debe asemejarse al de los cereales (8-10%) para satisfacer las necesidades proteínicas de los adultos en tanto se consume una cantidad adecuada para cubrir los requerimientos energéticos. En lo referente a la calidad de la proteína, ésta depende tanto de la proporción de aminoácidos indispensables que contiene en relación con los requerimientos humanos, como de la biodisponibilidad de los mismos, término que se refiere a la capacidad para incorporar los aminoácidos de la dieta a las estructuras corporales y que puede verse afectada tanto por una mala digestión como por una absorción incompleta (Cheftel et al., 1989).

Existen varios factores que pueden ocasionar una baja biodisponibilidad de aminoácidos, como la inaccesibilidad de la proteína a las proteasas debida a su conformación, la dificultad para digerir proteínas que fijan metales, lípidos o celulosa, la presencia de factores antinutricionales que también la reduzcan, así como el tamaño y el área superficial de la proteína y el procesamiento al que haya sido previamente sometida (Mataix et al., 1995).

Actualmente la evaluación de alimentos funcionales no solo se basa en la disponibilidad de proteínas en alimentos sino la biodisponibilidad que representan en los procesos de digestión y absorción. En este sentido resulta de interés investigar el efecto de la posible sustitución parcial de sémola de trigo de pastas tradicionales por fibras dietéticas de diferente origen, sintética y natural, sobre la digestibilidad de proteínas.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Conocer el efecto de la adición de fibra dietaría sobre la digestibilidad (in vitro) de proteína en pastas alimenticias.

4.2 Objetivos específicos

- Formulación de pastas alimenticias adicionadas con diferentes fibras (chícharo, maíz y povidexrosa) al 6, 12 y 18%.
- Pruebas de cocción; tiempo óptimo de cocción, grado de absorción de agua, incremento de volumen, cocida, sólidos totales, índice de tolerancia al cocimiento.
- Pruebas fisicoquímicas; humedad, ceniza, lípidos, proteína y fibra dietaria total.
- Análisis del Perfil de Textura (APT); dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, masticabilidad.
- Análisis físico: color.
- Digestibilidad in vitro.

5. Hipótesis

La adición de fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18 % en la formulación de pastas alimenticias tendrán un efecto sobre la digestibilidad de proteínas.

6. Antecedentes

6.1 Pastas alimenticias

Según la Norma Oficial Mexicana NMX-F-023-S-1980 , se entiende como pastas alimenticias a los productos elaborados por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de semolina y/o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales (huevo, sazónadores, etc.) y aditivos permitidos (colorantes naturales o artificiales, conservadores , saborizantes).

6.1.2 Tipos de pastas

La palabra pasta, es un término genérico adoptado por la industria alimenticia que utiliza para referirse a toda la gama de productos comúnmente conocidos como espaguetis, tallarines, fetuchines, macarrones, coditos, conchitas, etc. En este sentido, los tipos de pasta han surgido de acuerdo al uso y gusto del consumidor. Actualmente existe una gran variedad de pastas alimenticias en el mercado, caracterizadas por su forma, tamaño, color y composición.

Una forma usual de clasificar a las pastas alimenticias es de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-023-S-1980 (tabla 1);

Tabla 1. Tipos de pastas.

Clasificación	Definición
Tipo I. Pasta amarilla o blanca de harina de trigo y/o semolina	Elaborada por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de semolina y/o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales y aditivos permitidos.
Tipo II. Pasta de harina de trigo y/o semolina con huevo	En su composición debe tener no menos de 4.2% de sólidos de huevo entero o de yema de huevo o bien 16.8% de huevo entero líquido o de yema de huevo líquida y los aditivos permitidos exceptuando los colorantes artificiales y naturales.
Tipo III. Pasta de harina de trigo y/o semolina con vegetales.	Contiene vegetales tales como zanahoria, tomate, espinacas o betabel; en cantidad no menor de 3.0% del vegetal deshidratado en el producto terminado, ingredientes opcionales y aditivos permitidos exceptuando colorantes artificiales.

6.1.3 Características fisicoquímicas

La norma oficial NMX-F-023-S-1980 establece que cualquier tipo de pasta deberá cumplir con los siguientes parámetros (tabla 2).

Tabla 2. Características fisicoquímicas de pasta seca.

Especificaciones (base seca)	MIN.	MÁX.
	Cenizas (%)	-
Proteínas (N x 5.76)% (en pastas con harina de trigo)	8.0	-
Proteínas (N x 5.76)% (en pasta con semolina)	9.5	-
Humedad (%)	-	14
Extracto etéreo (%)	0.25	-

6.1.4 Características sensoriales

- Color: Debe ser el característico del producto según su composición.
- Olor: No debe tener olor extraño.
- Consistencia: La pasta debe ser de consistencia dura.
- Aspecto: La pasta no debe presentar agrietamientos y/o estrellamientos en el momento de su envasado.

6.1.5 Características nutricionales

Desde el punto de vista nutricional, las pastas elaboradas solo de trigo son un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a un elevado contenido de carbohidratos (proporcionan aproximadamente 370 Kcal) y escaso contenido de lípidos, fibra dietética y bajo valor biológico de su proteína, originado por las deficiencias de lisina, un aminoácido esencial (Antognelli, 1980). El aporte de micronutrientes minerales y vitaminas también es relativamente bajo (tabla 3), no obstante, la pasta contiene; zinc, fósforo y selenio (minerales), tiamina y niacina (vitaminas) que favorecen el sistema inmunológico (Moreiras y col., 2013).

Tabla 3. Composición nutricional de pastas alimenticias

Composición nutricional	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	375
Proteínas (g)	12
Lípidos totales (g)	1.8
Hidratos de carbono (g)	75.8
Fibra (g)	4
Hierro (mg)	1.6
Magnesio (mg)	53
Zinc (mg)	1.5
Sodio (mg)	11
Fosforo (mg)	180
Selenio (mg)	62.2
Tiamina (mg)	0.18
Riboflavina (mg)	0.05
Equivalentes niacina (mg)	5.4
Vitamina B6 (mg)	0.1

Fuente: Moreiras y col., 2013

6.2 Trigo

El trigo pertenece al género *Triticum* y familia de las gramíneas *Poaceae*, es uno de los términos más ancestrales para denominar a los cereales. A nivel mundial es uno de los cereales más cultivados junto al arroz y maíz. En México, después del maíz, el trigo es el más importante en la dieta de los mexicanos. Su importancia radica en ser una de las principales fuentes de energía alimenticia y la principal fuente de proteína comparada con el maíz y arroz. Además de su versatilidad para elaborar diferentes productos de consumo masivo, como como pan, pastas, tortillas, galletas, etc.

6.2.1 Estructura y composición del grano de trigo

El grano del trigo tiene una forma ovalada, cubierto por una cascarilla que protege al grano del ataque de insectos (eliminada antes del procesamiento del grano). Está formado por tres partes principales; endospermo, salvado y germen (figura 1) (Serna- Saldívar, 2009). El endospermo representa el 82 % del peso del grano, está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosas. El salvado concierne a las capas externas del grano, está constituido en mayor proporción por el pericarpio que a su vez está formado por la epidermis, el epicarpio y el endocarpio; contiene fibra, proteínas, vitaminas y minerales (Ritchie et al., 2000;

Mabile et al., 2001; Shewry, et al., 2002). El germen contiene proteínas, grasas, minerales y vitaminas del grupo B (Shewry, et al., 2002; Gomez-Pallares et al., 2007).

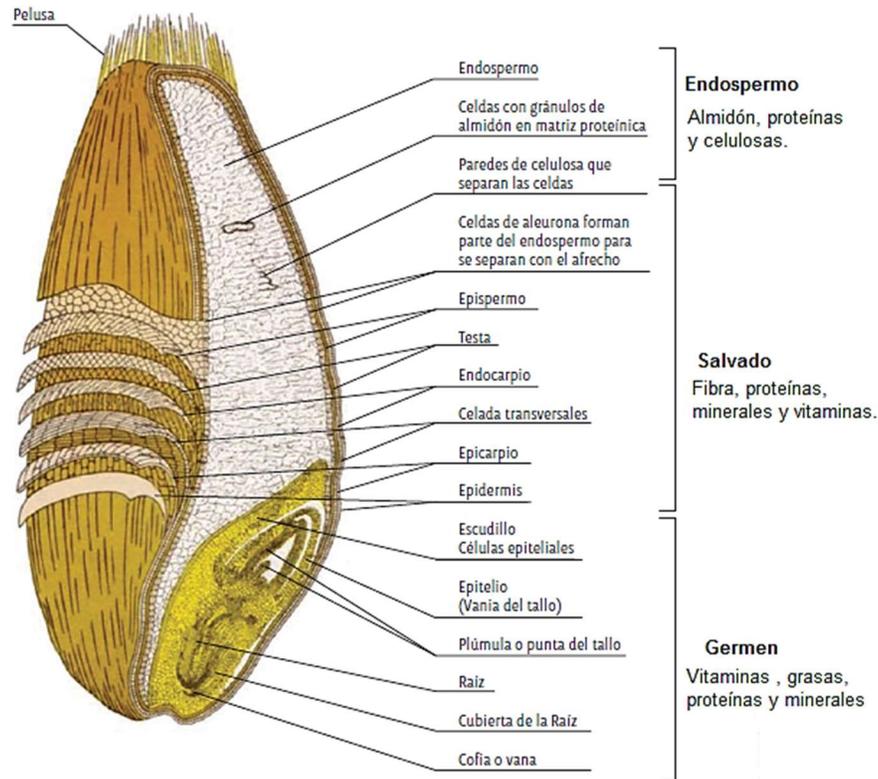


Figura 1. Estructura del grano de trigo.

En general, el grano de trigo está compuesto por hidratos de carbono, proteínas, fibras, lípidos y pequeños porcentajes de minerales y vitaminas (Kent, 1987; Altenbach et al., 2003). Es importante mencionar que la composición de grano varía de acuerdo a tres factores: la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. Además, la calidad y cantidad de nutrientes dependen de las especies de trigo que influirán en sus propiedades nutritivas y funcionales (Kamal et al., 2009; Serna et al., 2009).

6.2.2 Sémola de trigo

El trigo es de los cereales más cultivados alrededor del mundo. En México la producción del trigo se divide en dos primordialmente. El primero y más común, conocido como trigo harinero *Triticum aestivum*, la molienda del grano produce

harina que contiene proteínas llamadas gliadinas y gluteinas las cuales constituyen el gluten, responsables de las propiedades de viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera. El segundo, trigo cristalino *Triticum durum*, también conocido como trigo para pasta, se caracteriza por tener granos duros de color oscuro con un bajo contenido de gluten y un contenido de proteínas de 12 a 14%, una vez que el grano es molido se obtiene una fracción llamada sémola que es utilizada principalmente en la producción de pastas para consumo humano (figura 2).



Figura 2. Harina y sémola de trigo.

La sémola de trigo es el producto granular (tamaño de partícula de 150-500 μ) de color amarillo oscuro, y de estructura dura y vítrea proveniente de la molienda del endospermo del grano de trigo duro (Hoseney, 1991; Granito et al., 2003).

La calidad de la sémola de trigo para la elaboración de pastas se define en términos de los parámetros de control de calidad del trigo, como lo son el contenido y la calidad de proteína y propiedades fisicoquímicas del almidón, hidrato de carbono más importante en todos los cereales (Sissons, 2004). El contenido de proteína o cantidad de gluten menores a 13% han sido relacionados con la obtención de pastas de calidad pobre, mientras que valores superiores a este se asocian a pastas de calidad aceptable. La calidad de la proteína tiene una gran influencia en la fabricación de la pasta y en las propiedades de conservación de la forma y estructura de la pasta durante la cocción, así como la firmeza, elasticidad y pegajosidad (consistencia al dente) de la pasta cocinada (Zarco et al., 1999).

En efecto, la pasta elaborada con la sémola del trigo duro es preferida por su calidad superior, ya que tras la cocción, conserva su forma, firmeza y un color amarillo brillante del agrado del consumidor (Rubianes, 2007).

6.3 Almidón

El almidón es el hidrato de carbono más importante en todos los cereales, ya que es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales. Los granos de cereales contienen entre 60 y 75% de su peso seco de almidón (Kent, 1987). Este carbohidrato ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria. En la dieta mexicana, de las calorías consumidas cerca del 70 al 80% provienen del almidón (Thomas et al., 1999). Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos; la amilosa y la amilopectina. En términos generales, los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Belitz et al., 2000).

6.3.1 Amilosa

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal (figura 3), en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa.

Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar la estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon et al., 1994).

6.3.2 Amilopectina

Por su parte la amilopectina, es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas por enlaces α -D-(1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa (figura 4). Es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan et al., 2004)

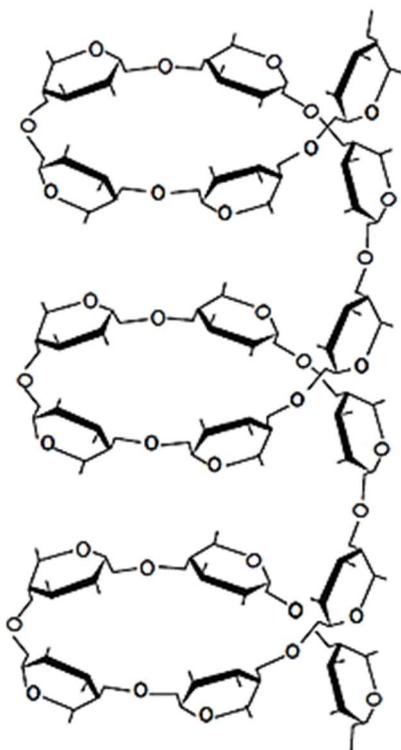


Figura 3. Enrollamiento helicoidal de la amilosa.

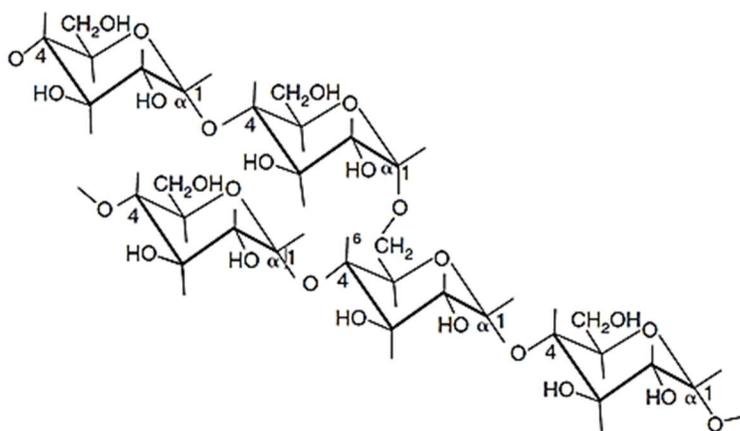


Figura 4. Estructura química de la amilopectina.

6.4 Digestibilidad de hidratos de carbono

Los hidratos de carbono o carbohidratos (CHO) son compuestos formados por carbono, hidrogeno y oxígeno. Los CHO son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza y también los más consumidos por los seres humanos (Belitz et al., 2000). Los más conocidos son la sacarosa, la glucosa, la fructosa, el almidón y la celulosa, pero también existen otros que, aunque se encuentran en menor concentración en los productos que consumimos diariamente, tienen mucha importancia por sus propiedades físicas, químicas y nutrimentales.

En general, los carbohidratos forman parte importante de la dieta humana (principal fuente de energía), sin embargo, para su aprovechamiento deben ser digeridos a monosacáridos y posteriormente absorbidos. Su digestión se lleva a cabo en dos fases (Mataix et al, 2002):

- Intraluminal: hidrólisis del almidón por las enzimas alfa-amilasas;
- Parietal: por los enzimas del epitelio del intestino delgado.

6.4.1 Fase Intraluminal

La digestión de los hidratos de carbono comienza a nivel de la boca por la acción de la enzima alfa amilasa salival durante la masticación. Su acción es limitada por el escaso tiempo de contacto antes de llegar al estómago donde es inactivada por el pH ácido gástrico.

6.4.2 Fase parietal

La digestión continúa en intestino delgado (la mayor parte de los hidratos de carbono alcanza el duodeno sin hidrolizar), en esta fase, por acción de la enzima amilasa pancreática es donde se lleva a cabo la casi totalidad de su digestión.

El almidón está compuesto por cadenas lineales de glucosa unidas por enlace α (1,4) que se ramifica en ciertos puntos con enlaces α (1,6). La amilasa pancreática rompe los enlaces α (1,4) y los productos resultantes son glucosa, maltosa, maltotriosa y dextrina límite. La glucosa no necesita ser hidrolizada pero el resto de moléculas necesitan ser hidrolizadas por enzimas presentes en el borde en cepillo (Berne et al., 2004). La dextrina límite es hidrolizada fundamentalmente por una glucoamilasa aunque también por isomaltasa-sacarasa. La maltosa y maltotriosa son hidrolizadas por la isomaltasa que rompe los enlaces α -1,6 y forma un complejo con la sacarasa. Otros disacáridos como lactosa y trealosa son hidrolizados por lactasa y trealasa respectivamente. El enterocito sólo puede absorber monosacáridos y en concreto glucosa, galactosa y fructosa. La glucosa y galactosa se absorben mediante transporte activo dependiente de sodio (Martínez et al., 2005).

No todos los carbohidratos potencialmente digeribles se absorben en el intestino delgado, hasta el 20% del almidón de la dieta puede llegar al colon, siendo fermentados por las bacterias del colon (como ocurre con la fibra dietética fermentable), produciéndose ácidos grasos de cadena corta (butirato, propionato, acetato y lactato), hidrógeno, dióxido de carbono y metano (Mataix et al, 2002).

6.5 Fibra dietética

La fibra está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales cuyos componentes son resistentes a las enzimas presentes en el aparato digestivo del hombre. Entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa, pectinas, gomas y lignina (Anguera, 2007). También se hallan presentes alginatos, xiloglucanos, dextrana, inulina, glucanos y polisacáridos no sintéticos (Periago et al., 1993). Desde el punto nutricional, y en sentido estricto, la fibra dietaría no se considera un nutriente, ya que no participa directamente en procesos metabólicos del organismo (Arrigorri et al., 1986). Sin embargo una definición reciente señala a la fibra dietética como funcional, asumiendo que los componentes o derivados de los hidratos de carbono resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos humanos y llegan intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la flora colónica (Dietary ,2001).

En 1979 y 1988, Anderson y Rochrig respectivamente, describieron que la función principal de la fibra es que tiene la capacidad de hincharse al absorber agua y, por lo tanto, de aumentar el volumen de la materia fecal; esto provoca incremento en los movimientos peristálticos del intestino y facilita el tránsito, la distensión intestinal y, consecuentemente, la defecación; es decir, su acción primaria se lleva a cabo precisamente en el colon del ser humano.

No todas las fibras presentan las mismas propiedades en consecuencia dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales la fibra dietaría se han clasificado en soluble e insoluble.

6.5.1 Fibra soluble

Está formada por componentes como; inulina, pectinas, gomas y mucilagos, que captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos en el tracto gastrointestinal, que tienen la propiedad de retardar la evacuación gástrica, haciendo más eficiente la digestión y absorción de alimentos y generando mayor saciedad (Córdoba, 2005). Este tipo de fibra es altamente fermentable por los microorganismos intestinales, por lo que produce gran cantidad de gas en el intestino, favorece la creación de flora bacteriana, también aumenta el volumen de las heces y disminuye su consistencia (De la llave ,2004). 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). Este tipo de fibra predomina en las legumbres, cereales y en algunas frutas.

6.5.2 Fibra insoluble

La fibra insoluble está integrada por celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón resistente, que retienen poca agua y se hinchan poco (Priego, 2007). Este tipo de fibra predomina en alimentos como el salvado de trigo, granos enteros, algunas verduras y en general en todos los cereales (Nelson, 2005). 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 (Beristain y Col, 2006).

6.5.3 Fibra de maíz

Hecha de almidón de maíz, NUTRIOSE® FM10 puede describirse como una dextrina resistente. Existe una amplia gama de dextrinas para consumo humano, con fines alimenticios o farmacéuticos. NUTRIOSE® FM10 puede elaborarse a partir de almidón de trigo (gama NUTRIOSE® FB) o almidón de maíz (gama NUTRIOSE® FM), mediante un proceso de dextrinización altamente controlado.

Durante este proceso, el almidón sufre un grado de hidrólisis seguido de repolimerización. Es esta repolimerización la que convierte el almidón en fibra, al hacer que se formen enlaces glicosídicos no digeribles (β -1,2, β -1,3 β -1,4, β -1,6) que no pueden ser hidrolizados por enzimas en el tracto digestivo, y además, causa algún obstáculo a la escisión de los enlaces digeribles (figura 5). A la dextrinización le sigue un paso de separación, que asegura la distribución óptima del peso molecular para proporcionar un rendimiento reológico y técnico constante y también la cantidad correcta de fibra, que es 85% para NUTRIOSE FM10 (Gordon et al., 2002; Roturier et al.2003; Roturier et al.,2006).

Esta dextrina, es considerada una fuente de fibra probiótica, resiste parcialmente la digestión en el intestino delgado siendo fermentado progresivamente por la microflora del colon. Así, actúa como un sustrato selectivo para la proliferación de bacterias beneficiosas en el colon a la vez que favorece la inhibición del crecimiento de algunas poblaciones de bacterias patógenas, como *Clostridium perfringens*. Es muy resistente a procesos, no provee color, olor ni dulzor. Dentro de sus aplicaciones se encuentran bebidas, lácteos y salsas (DEIA, 2010).

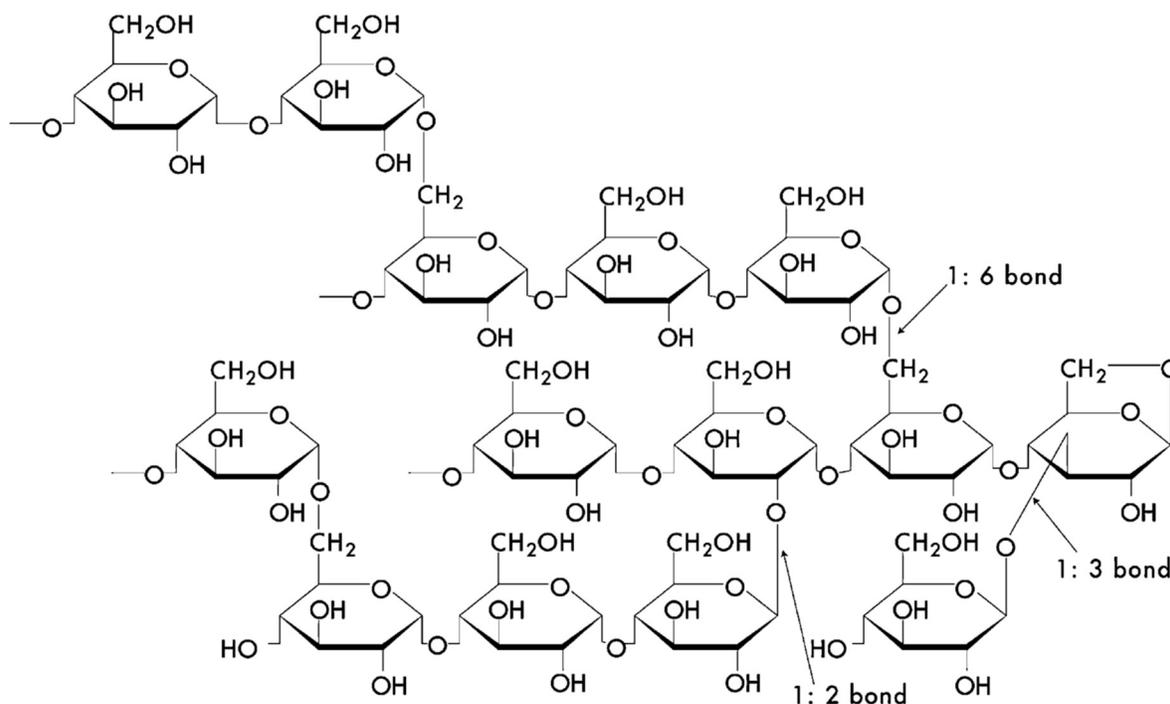


Figura 5. Estructura química - Dextrina NUTRIOSE® FM10

6.5.4 Fibra de chícharo

La Fibra de chícharo I 50M ROQUETTE® es extraída mediante la separación en húmedo de chícharos amarillos. Compuesta fundamentalmente de polisacáridos hemicelulosa, celulosa y pectina (48%), con presencia de almidón (44%) y proteínas (3%), reconocida por ser un ingrediente capaz de retener agua y grasa. De acuerdo a Tonh y Yadha (2010), la fibra de chícharo puede ejercer efectos prebióticos, atribuido a la capacidad de fermentación, puede mantener el crecimiento de bacterias saludables en los intestinos, evitando así la proliferación de bacterias no saludables. También, las propiedades tanto de su almidón como de sus componentes de fibra hacen que la fibra de chícharo sea un alimento de bajo índice glucémico y, por lo tanto, beneficioso para la prevención y el tratamiento de diabetes (Trinidad et al., 2009). Además, puede reducir el colesterol en sangre al disminuir la reabsorción de ácidos biliares (Chen et al., 1984).

Por otro lado, la fibra de chícharo tiene un bajo impacto sobre la viscosidad, característica que permite que esta fibra pueda ser adicionada a mayores concentraciones sin afectar las características organolépticas del producto final. Con respecto a las aplicaciones, puede ser empleada desde salsas y aderezos, emulsiones cárnicas y análogos de carne, productos marinos procesados, productos de panificación, botanas, cereales, hasta barras nutricionales (DEIA, 2014).

6.5.5 Polidextrosa

Posee características de fibra dietaria, es un polímero sintético de glucosa unido aleatoriamente de D-glucosa con terminales de sorbitol y un ácido cítrico. También es conocida como poliglucosa o poli-d-glucosa (figura 6). El resultado es una compleja estructura resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas (Olagnero et al., 2007).

Puede ser utilizada en grandes cantidades sin influir en el sabor del producto final, dado que posee un sabor neutro y una agradable palatabilidad. También, es utilizada como fuente de fibra o como prebiótico con efectos benéficos para la flora intestinal. Esta fibra dietaria, es conocida por ser un excelente agente de cuerpo,

siendo un sustituto del azúcar y grasas. Su capacidad de retener agua propicia una textura similar a la de la harina, cuando es comparada con otras fibras (Rao., 1999; Jie et al., 2000). Algunas de las características más importantes son las siguientes (Danisco 2013):

- De color blanco a crema
- Inodoro y sin sabor
- Muy soluble en agua aproximadamente 80g/100 ml a 20°C
- Alta estabilidad térmica y química.
- Viscosidad baja en solución al 70% w/w 25 °C
- Polímero de alto peso molecular [máx 22.000 MV]

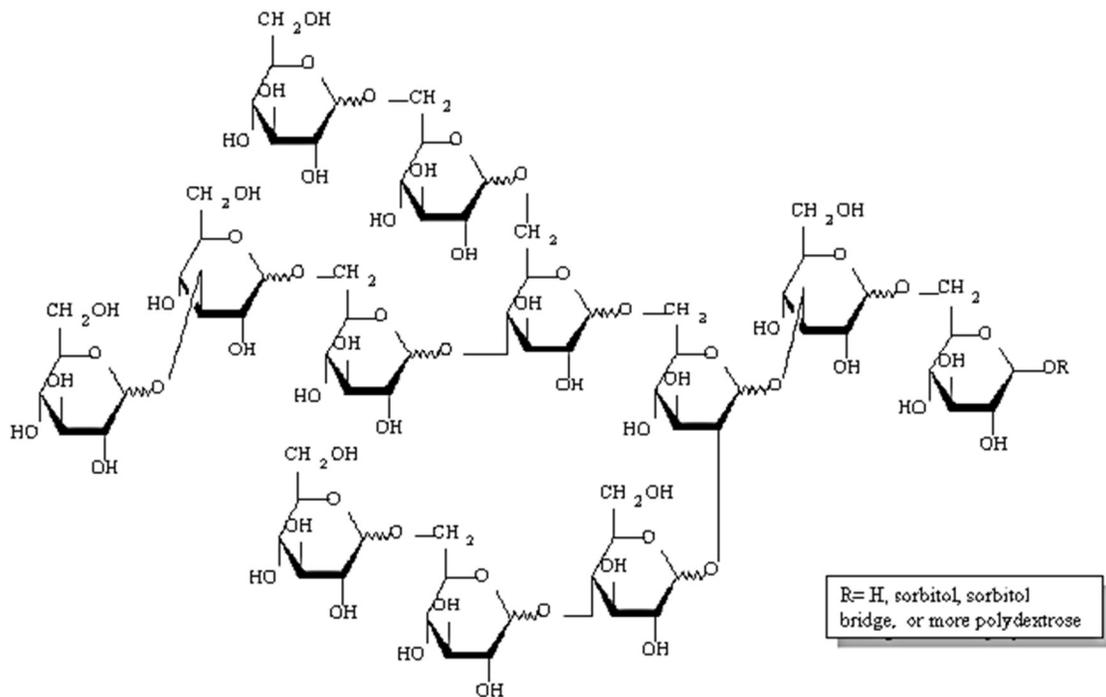


Figura 6. Estructura química – polidextrosa DANISCO

6.6 Digestibilidad de proteínas

El proceso digestivo es un conjunto de reacciones químicas cuyo objetivo es proporcionar nutrimentos al ser humano, y está compuesto por el proceso de ingestión de alimento, la secreción de ácido clorhídrico y de enzimas en el tracto gastrointestinal, la hidrólisis de macromoléculas, la absorción de nutrientes y la excreción de productos de desecho (Lizardo, 1997). La combinación de los procesos de digestión y absorción es conocida como la digestibilidad de nutrimentos y está intrínsecamente relacionada con el valor nutritivo de los alimentos (Low, 1976). Específicamente la proteína dietética no puede ser absorbida tal y como la ingerimos, por ello deben ser hidrolizadas mediante la acción de diversas enzimas proteolíticas (proteasas) hasta elementos más pequeños, aminoácidos y péptidos. En efecto, la digestión tiene como objetivo principal hidrolizar las proteínas hasta el nivel de aminoácidos o pequeños péptidos de manera que puedan ser absorbidos (Belitz et al., 2000).

6.6.1 Importancia de la digestibilidad

La digestibilidad es uno de los parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos insumos destinados a alimentación, debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento (o en sus insumos) sino que debe ser digerible para que pueda ser asimilado y, por consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere (Au & Bidart, 1992). La digestibilidad, por lo tanto, constituye una excelente medida de calidad y ello ha suscitado la idea medirla de diferentes formas, in vivo, la colección total de heces es el método más confiable por involucrar directamente factores del alimento y del animal que afectan el aprovechamiento nutricional, no obstante, es laborioso, costoso, demanda tiempo e infraestructura e implica algunas restricciones al manejo ordinario de animales en producción (Posada et al., 2012). Dadas estas restricciones, los métodos de digestibilidad in vitro representan una alternativa de trabajo por su rapidez y confiabilidad, siempre que se simulen adecuadamente los procesos de digestión, al someter las proteínas a una digestión artificial por pepsina

que es una enzima que se encuentra en el estómago de los animales superiores (Alcalde et al., 2001).

6.6.2 Proceso de digestión de proteínas

La digestión de las proteínas inicia en el tracto gastrointestinal, a través de enzimas proteolíticas (proteinasas y peptidasas); en este punto, a la llegada de los alimentos al estómago, se estimula la secreción de jugo gástrico, mediante la hormona gastrina, que contiene ácido clorhídrico (Mataix et al., 2002). La secreción del ácido clorhídrico condiciona un pH gástrico entre 2 y 4. Esta acidez en el medio tiene como función, por un lado, disminuir la cantidad de bacterias que pudieran acompañar al alimento, y por otro, desnaturalizar a las proteínas haciéndolas susceptibles a la hidrólisis enzimática posterior, además, es fundamental para la activación del pepsinógeno inactivo en pepsina (enzima que transforma proteínas a polipéptidos de bajo peso molecular e hidrosolubles, peptonas) (Torres et al., 2014). El proceso de activación se puede dar mediante una autoactivación o autocatálisis. El primero, se produce cuando el pH del entorno es inferior a 2, y consiste en la pérdida de un fragmento de 44 aminoácidos en el pepsinógeno, dejando a la pepsina activa. El segundo método de activación, se da cuando la pepsina ya activada ataca al propio pepsinógeno activándolo.

La liberación de los aminoácidos además de activar el pepsinógeno, actúa como péptido señal para la liberación de la hormona colecistoquina en el duodeno. Esta acción, da pauta para que se produzca la siguiente fase de digestión proteica en el intestino delgado por la acción de las enzimas pancreáticas e intestinales.

Secundariamente en la luz intestinal del duodeno y yeyuno, las proteínas son atacadas por las proteasas pancreáticas endopeptidasas (tripsina, quimotripsina y elastasa) y exopeptidasas (carboxipeptidasas A y B), secretadas a través del jugo pancreático en forma de zimógenos inactivos (Schmitz 1974).

La primera fase de activación se lleva a cabo por la enzima enteroquinasa, activando el tripsinógeno a tripsina quien, a su vez activa al tripsinógeno, y es responsable de la activación de las proteasas pancreáticas.

Durante el proceso de digestión las enzimas actúan de forma específica en los aminoácidos. Las endopeptidasas tienen especificidad por los enlaces peptídicos adyacentes a ciertos aminoácidos (desdoblan los enlaces peptídicos dentro de la molécula), la tripsina en arginina y lisina, la quimotripsina en los aminoácidos aromáticos y la elastasa en los alifáticos (Nixon et al., 1970). Estas acciones llevan a la formación de oligopeptidos (entre 2 y 6 aminoácidos) y aminoácidos libres. Sin embargo, el mecanismo de absorción únicamente permite el paso de aminoácidos libres y pequeños oligopeptidos (dipeptidos y tripeptidos), por lo que es necesario que las peptidasas hidrolicen los fragmentos peptídicos.

En una etapa final, el proceso de digestión culmina con la acción del borde en cepillo del enterocito a través de enzimas exopeptidasas; las exopeptidasas separan un solo aminoácido del extremo del carbonilo terminal, la carboxipeptinasa A actúa sobre los carboxilos terminales aromáticos y alifáticos, y la carboxipeptidasa B, sobre los básicos (Nixon et al., 1970). Dando como resultado: tripéptidos, dipéptidos y aminoácidos libres, que ya pueden ser absorbidos por los mecanismos de transporte de la célula intestinal (Rodríguez, 2008).

7. Materiales y métodos

Bajo el siguiente diagrama (figura 5) se llevó a cabo la experimentación. La primera etapa consistió en la elaboración de pastas, un control hecho 100% de trigo durum y tres más sustituyendo la sémola de trigo por fibras de chícharo, maíz y polidextrosa al 6, 12 y 18 por ciento. En la segunda etapa, se aplicaron pruebas de cocción, fisicoquímicas y de color a todas las pastas crudas, para el Análisis de Perfil de Textura y Digestibilidad In Vitro las pastas fueron previamente sometidas a cocción.

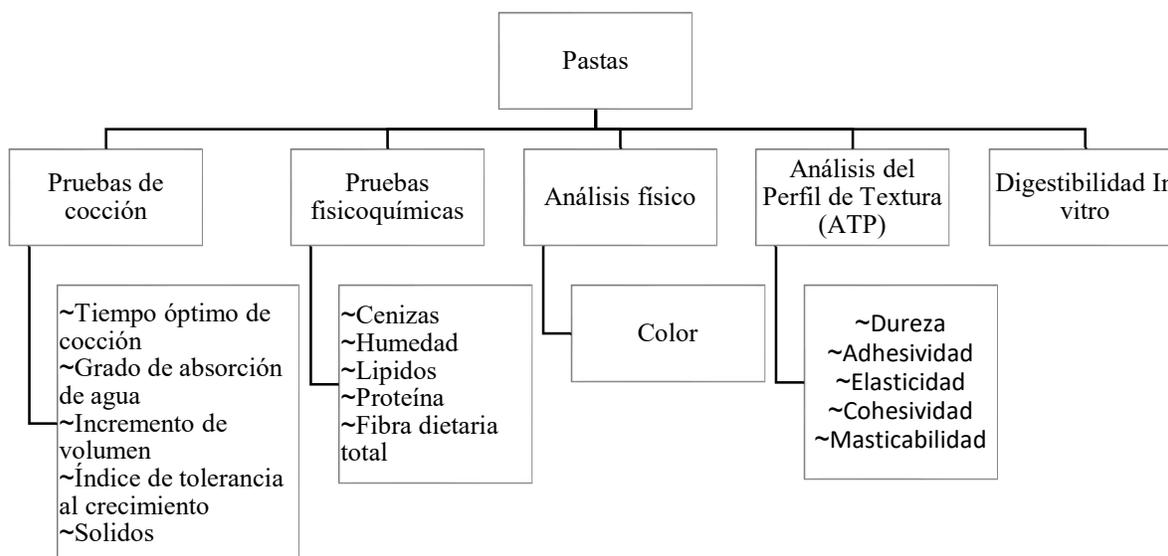


Figura 7. Diagrama de trabajo.

7.1 Elaboración de pastas

La pasta control (fettuccine) fue elaborada con sémola de trigo durum al 100% (Flor y vida), agua, colorante amarillo huevo (Deiman). Para las pastas adicionadas se utilizaron diferentes tipos de fibra; fibra de chícharo, fibra de maíz (Roquette) y polidextrosa (Danisco). Las diferentes pastas fueron adicionadas al 6, 12 y 18 %.

La elaboración de la pastas tipo fettuccine se describe en el siguiente diagrama de bloques. Finalmente, en la figura 7 y 8 se muestran las pastas antes y después de cocción respectivamente.

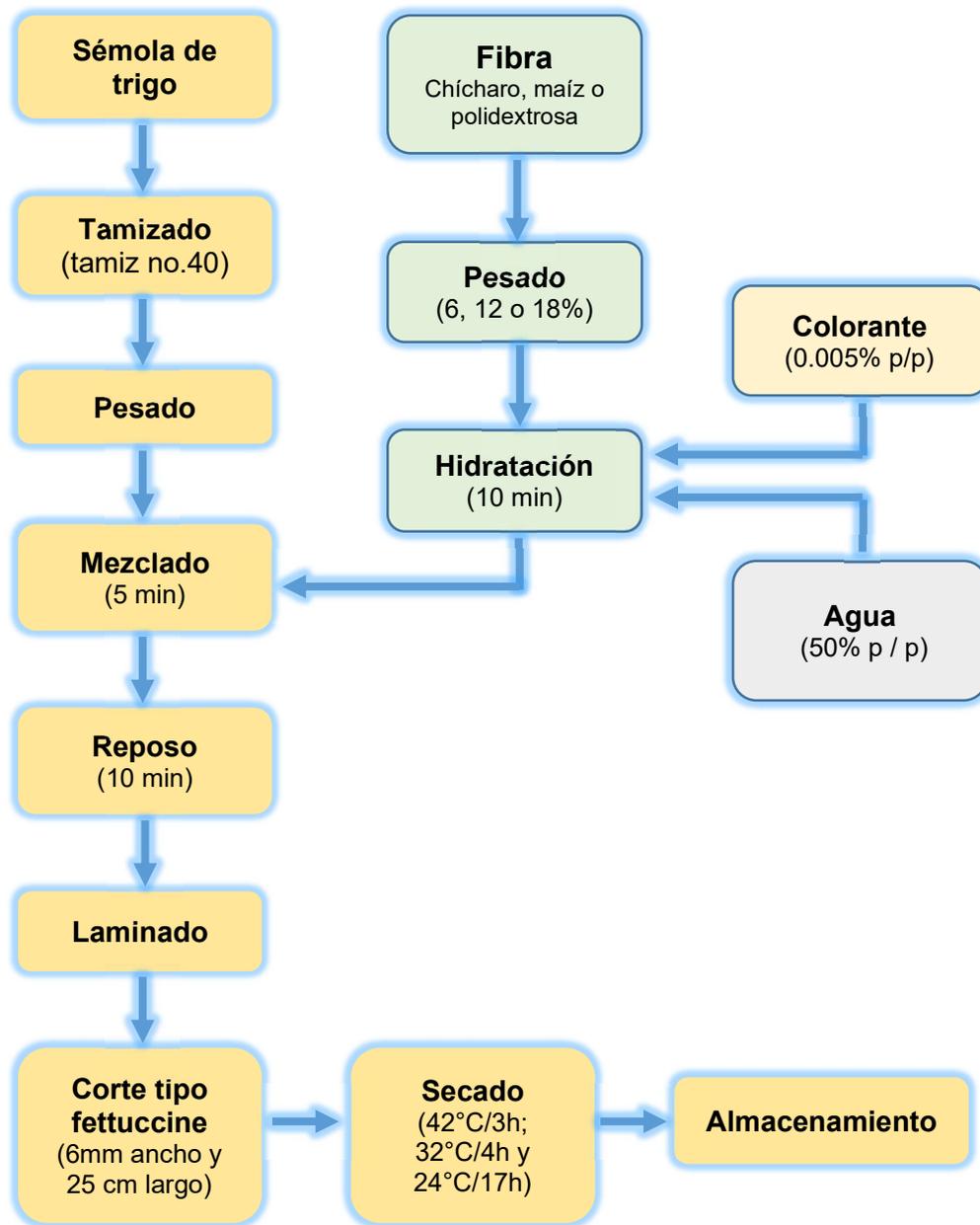


Figura 8. Diagrama de bloques para la elaboración de pastas alimenticias adicionadas con fibra.

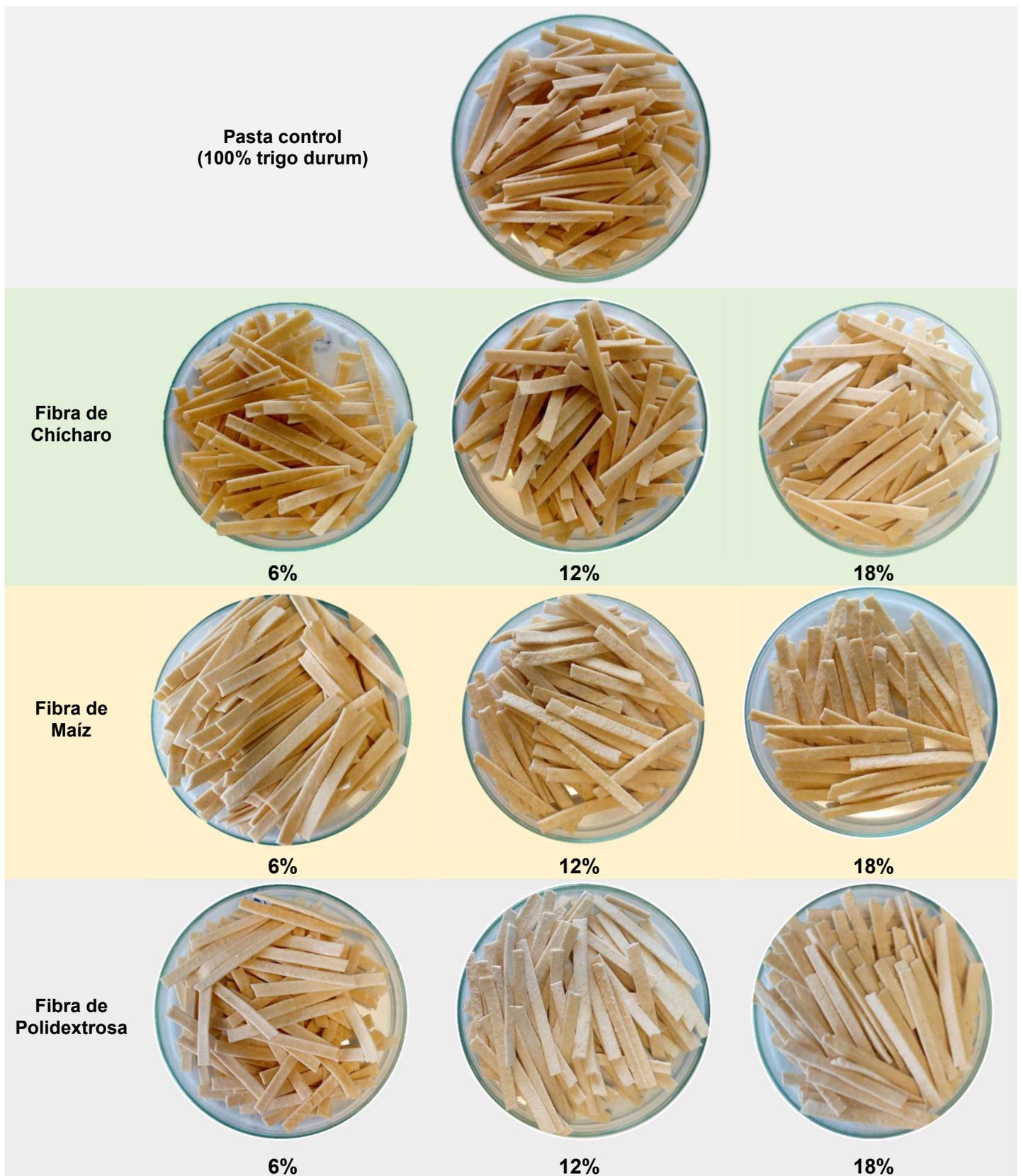


Figura 9. Pastas cortadas en 5 cm antes de cocción.

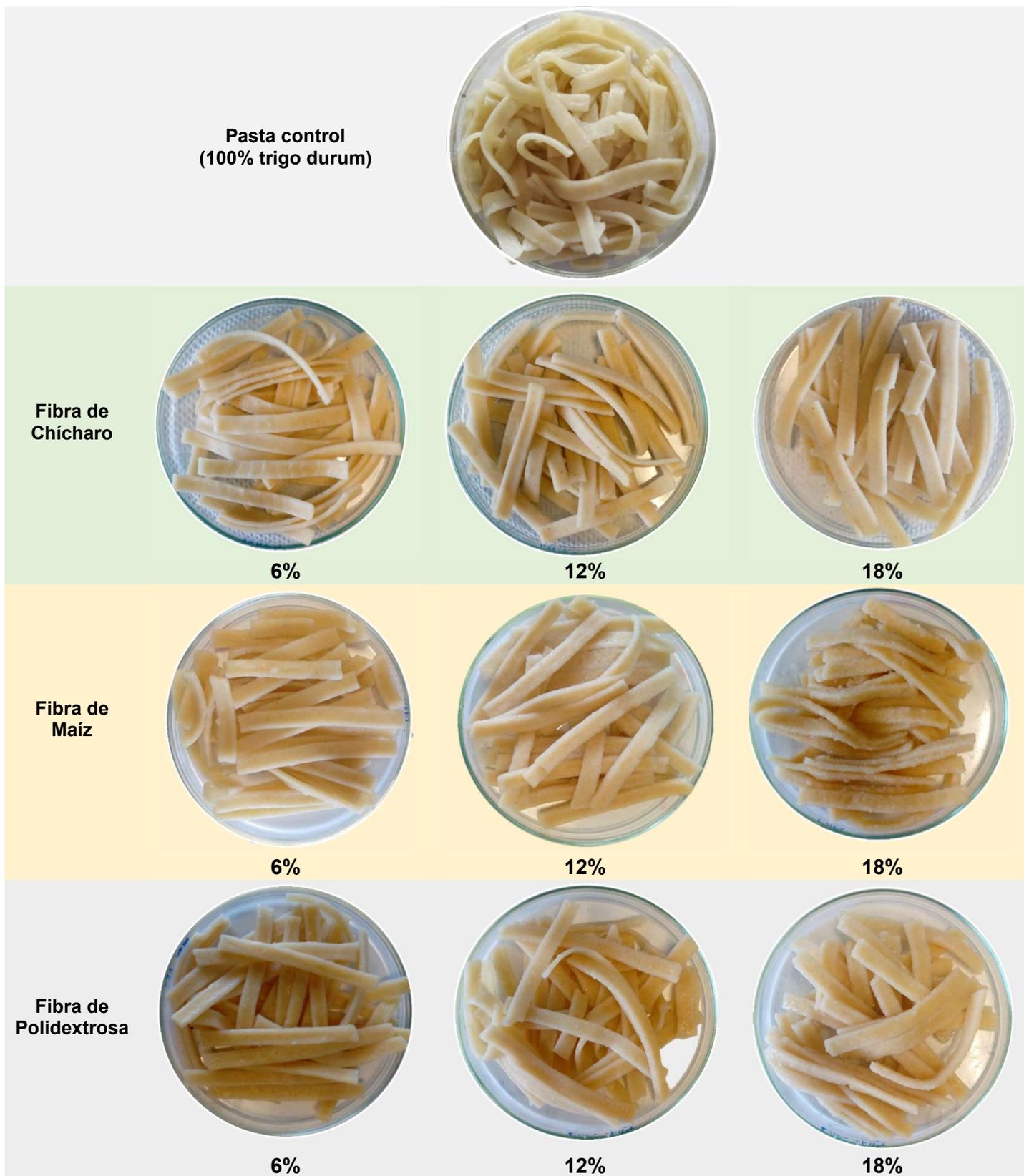


Figura 10. Pastas cortadas en 5 cm después de cocción.

7.2 Pruebas de cocción

7.2.1 Tiempo óptimo de cocción.

Fue determinado de acuerdo a la AACC método 66-55 (2000), que corresponde a la desaparición del núcleo opaco de las pastas cuando se comprime entre dos placas de vidrio. Se colocaron 25 g de pasta (previamente cortada en 5 cm) en 500 ml de agua hirviendo. Cada minuto, se tomaba un trozo de pasta y se comprimía entre dos placas de vidrio. El tiempo óptimo de cocción (min) se estableció cuando el núcleo blanco de la pasta, al comprimirlo entre dos portaobjetos de vidrio, ya no era visible.

7.2.2 Grado de absorción de agua

Se pesaron 25 g de pasta y se cocieron de acuerdo al tiempo óptimo de cocimiento para cada pasta. Una vez cocida la pasta se colocó en un embudo buchner, sobre una probeta de 1 L de capacidad, se dejó escurrir por 10 min y se pesó.

La absorción de agua de la pasta escurrida se determinó como:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{W3 - W4}{W4} \times 100$$

Donde:

W3 = peso de la pasta cocida

W4 = peso de la pasta cruda

7.2.3 Incremento de volumen

El volumen de las pastas se determinó con 25 g de pasta previamente cocida en su tiempo óptimo y pasta cruda (base seca), cada una se colocó en una probeta de 500 ml con 250 ml de agua. El volumen alcanzado se registró y consecutivamente el resultado se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento de volumen (\%)} = \frac{\text{Volumen pasta cocida} - \text{Volumen pasta cruda}}{\text{Volumen pasta cocida}} \times 100$$

7.2.4 Sólidos totales

Se define como la cantidad de sólidos perdidos en el agua de cocción y se determinó según el método 66-50 (AACC, 2000). 25 g de pasta se cocinaron de acuerdo a su tiempo óptimo de cocción en 500 ml de agua en ebullición. Posteriormente la pasta fue extraída del agua de cocción. El agua de cocción final se llevó a 500 ml con agua destilada y se agitó durante diez minutos. Para determinar el peso del residuo, cinco mililitros de agua de cocción se depositaron en una charola de aluminio (a peso constante), y se colocó en una estufa a 100 ± 1 °C durante 20 h.

$$\text{Pérdida de sólidos (\%)} = \frac{AB}{CD} \times 100$$

Donde

A = peso del residuo

B = volumen de agua de cocción (500 ml)

C = peso inicial de la muestra (25 g), y

D = volumen de muestra tomado para la estimación de residuos (5 ml).

7.2.5 Índice de tolerancia al cocimiento

Se define como el tiempo en que la pasta empieza a romperse por efecto del cocimiento menos su tiempo de cocción. 25 gramos de pasta se colocaron en 500 ml de agua en ebullición, el tiempo de desintegración de la pasta se registró cuando se observaron tres fragmentos de pasta rota.

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

Donde:

TDP: Tiempo de desintegración de la pasta (min)

TOP: Tiempo óptimo de cocción (min)

7.3 Pruebas fisicoquímicas

La descripción de los métodos y resultados para la determinación de proteínas y fibra corresponden a lo aplicado por Alan y colaboradores (2014) en el tesis titulada “Propiedades de cocción de pastas de trigo con índice glucémico reducido adicionadas con fibra natural y sintética”.

7.3.1 Humedad

Se determinó el porcentaje de humedad según lo descrito en el método oficial 44-19 de la AACC (2000), 1.0 g de muestra (pasta cruda) en charola de aluminio (a peso constante), se colocó en la estufa a 100 ± 1 °C durante 3 h, posteriormente se enfrió en un desecador por 20 min. Finalmente se determinó la humedad por diferencia de peso con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

7.3.2 Ceniza

A partir de 1g de muestra según lo descrito por el método 08-01 de la AACC (2000) se determinó el porcentaje de ceniza.

La muestra se carbonizó sobre la flama de un mechero y se introdujo en la mufla a 550 ± 1 °C durante 5h, posteriormente se enfrió en un desecador. Finalmente se determinó el porcentaje de cenizas:

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

7.3.3 Lípidos

La extracción de lípidos en las pastas tipo fettuccine fueron realizadas en un equipo Goldfish según el método de Soxhlet AOAC (1980). Un gramo de muestra seca se colocó en cartuchos de celulosa y posteriormente en el equipo de Goldfish. Para la extracción continua se adicionaron 30 ml de éter de petróleo en los vasos del equipo y consecutivamente se realizó la extracción durante 5 horas, el goteo del disolvente permaneció continuo. Por último, los vasos se colocaron en una campana de

extracción durante 24 horas, finalmente, los vasos se secaron en la estufa a 100 ± 1 °C por 30 min y se pesaron. El contenido de grasa se cuantificó por diferencia de peso con la siguiente ecuación:

$$\text{Lípidos (\%)} = \frac{\text{peso final del vaso (g)} - \text{peso inicial del vaso (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

7.3.4 Proteína

Para la cuantificación de proteína en las pastas tipo fettuccine, se aplicó el método oficial 960.52 de la AOAC (2000), el cual consiste primero en la cuantificación de nitrógeno total, empleando .5 g de pasta molida en 5 g de catalizador Kjeldahl y 15 ml de H₂SO₄ concentrado. El amonio resultante se destiló durante 5 minutos en la unidad de destilación Büchi K-350, recogiendo el NH₃ en exceso de ácido bórico al 2% y valorando con HCl 0.1 N. Para el porcentaje de proteína de las pastas se multiplicó el contenido de N por el factor de 5.7 correspondiente a cereales. Finalmente, con las siguientes ecuaciones se calculó el porcentaje de proteína:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(\text{gasto de HCl ml})(0.014)(N)}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

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

Donde:

N = Normalidad de HCl (0.1)

F = Factor de conversión a proteína, 5.7 para cereales.

7.3.5 Fibra dietética total

Siguiendo las instrucciones del kit Sigma-Aldrich 2002 para la determinación de fibra dietética, se pesaron 0.5g de pasta molida en un matraz Erlenmeyer, se añadieron 25 ml de buffer fosfatos (0.08 M, pH 6) y 0.05 ml de α-amilasa (Sigma-Aldrich), se taparon los matraces y se colocaron en baño maría con agitación a 95°C por 15 minutos. Posteriormente, se sacaron los matraces y se dejaron enfriar a temperatura

ambiente. Se adicionaron 5 ml de hidróxido de sodio 0.275 N y 0.05 ml de proteasa (Sigma-Aldrich), se taparon y se incubaron en baño maría a 60°C por 30 minutos. A continuación, se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se adicionaron 5 ml de ácido clorhídrico 0.325 M y 0.05 ml de aminoglucosidasa (Sigma-Aldrich), se dejó incubar en baño maría a 60°C por 30 minutos. Después, se dejaron enfriar por completo y se procedió a colocar la muestra en un crisol puesto previamente a peso constante. Se añadió 4 volúmenes (281.2 ml) 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. Por medio de los siguientes cálculos se obtuvo el porcentaje total de fibra dietética:

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

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

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

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

Donde:

FDT = Fibra Dietética Total

R = Peso promedio de residuo (mg)

P = Peso promedio proteína (mg)

A = Peso promedio cenizas (mg)

SW = Peso promedio de muestra (mg)

W1= Peso constante del crisol (mg).

W2= Peso del crisol con muestra seca (mg).

W3= Peso del crisol con muestra calcinada (mg).

B= Blanco (mg)

7.4 Análisis del Perfil de Textura (APT)

Las características de textura de las pastas cocidas se determinaron utilizando un analizador de Textura Brookfield CT3, calibrado para una celda de carga 4500 g, a una velocidad de 2,0 mm/s, dos ciclos de compresión con un tiempo de recuperación de 10 segundos. Ocho tiras de fettuccine de 5 cm de longitud se colocaron sobre una celda en forma de bloques (longitud 50 mm, anchura 5 mm, altura 2 mm), la celda comprimió las pastas al tiempo que se graficaba una curva típica de Análisis de Perfil de Textura, de esta se calcularon los siguientes parámetros;

- Dureza: fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento durante la primera masticación.
- Adhesividad: Representa el trabajo necesario para despegar el alimento del paladar. El área de esta medida es negativa y resulta del primer ciclo de compresión.
- Elasticidad: altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y segundo (D_2/D_1).
- Cohesividad: representa el punto límite hasta el cual puede deformarse el material antes de romperse, se define como el cociente entre el área bajo la curva de la segunda compresión (A_2) y el área bajo la curva de la primera compresión (A_1).
- Masticabilidad: producto de la dureza por la cohesividad y elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento antes de ser deglutido.

7.5 Análisis físico: color.

El color de los fettuccines secos se determinó mediante un colorímetro AccuProbeHH06. Las lecturas de color se expresaron mediante valores de Hunter para L^* , a^* y b^* . Los valores L^* miden de negro a blanco (0–100), los valores a^* miden el enrojecimiento cuando son positivos y los valores b^* miden el color amarillento cuando son positivos.

La puntuación de color se obtuvo a partir de la siguiente ecuación propuesta por Hareland et al. (1995). Lo más preferible es un color ámbar o dorado intenso, determinado con la puntuación de color, los valores se definen del 1 al 10, siendo 10 la mejor calificación.

$$\text{Puntuación de color} = \frac{(L^* + (b^*x^2))}{20}$$

7.6 Digestibilidad de proteínas

Finalmente se determinó la digestibilidad de proteínas in vitro como lo describió Gawlik- Dziki, Swieca, et al. (2012).

Primero, se prepararon las siguientes soluciones;

Saliva simulada

- Disolviendo 2,38 g de Na₂HPO₄, 0,19 g de KH₂PO₄ y 8 g de NaCl en 1 L de agua destilada.
- La solución se ajustó a pH = 6,75 y se añadió α-amilasa (Sigma- Aldrich), para obtener 200 U / ml de actividad enzimática.

Fluido gástrico simulado

- Se prepararon 300 U / mL de pepsina (de la mucosa del estómago porcino, pepsina A, P7125 Sigma- Aldrich) en 0.03 mol / L de NaCl, pH = 1.2.

Jugo intestinal simulado

- Disolviendo 0,05 g de pancreatina (P1750 Sigma- Aldrich) actividad equivalente 4 USP y 0,3 g de extracto de bilis (Sigma- Aldrich) en 35 ml 0,1 mol / L de NaHCO₃.

Segundo, la pasta control y las pastas adicionadas con fibra se sometieron a una digestión gastrointestinal simulada de la siguiente forma:

Se macero 1 g de pasta previamente cocida con ayuda del mortero y 5 ml de agua destilada. La mezcla obtenida se homogenizó en un matraz Erlenmeyer durante 1 minuto para simular la masticación en presencia de 15 ml de fluido salival simulado; y posteriormente las muestras se agitaron durante 10 minutos a 37°C y 100 rpm en un agitador orbital marca thermo scientific.

Las muestras se ajustaron a pH = 1,2 usando 5 mol / L de HCl; y posteriormente, se añadieron 15 ml de fluido gástrico simulado. Las muestras se agitaron durante 60

minutos a 37°C. Después de la digestión con el fluido gástrico, las muestras se ajustaron a pH = 6 con 0,1 mol / L de NaHCO₃ y luego se añadieron 15 ml de una mezcla de extracto de pancreatina. Los extractos se ajustaron a pH = 7 con 1 mol/L de NaOH y posteriormente se añadieron 5 ml de 120 mmol / L de NaCl y 5 ml de 120 mmol/L de KCl a cada muestra. Una vez preparadas, las muestras se sometieron a digestión in vitro durante 120 minutos (se tomaron muestras cada 30 minutos), a 37°C y 100 rpm. Finalmente, se determinó el contenido de proteína por el método de Bradford (Bradford, 1976).

7.7 Análisis estadístico

Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados de las pruebas se calcularon como Medida \pm Desviación Estándar.

El análisis de varianza, seguido de la prueba de LSD (diferencia mínima significativa), se realizó con el software Statgraphics Plus, con un rango de confiabilidad del 95%.

8. Resultados y Discusión

8.1 Pruebas de cocción.

La evaluación correcta de la calidad de cocción de una pasta requiere la consideración de una serie de factores que incluyen tiempo de cocción, tolerancia de cocción, incremento de volumen, absorción de agua y pérdida de sólidos en el agua de cocción. Las propiedades de cocción de la pasta de control (100% sémola de trigo) y las muestras de pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y povidexosa se muestran en la tabla 4.

Las PCH, PM y PD al 12 y 18 % presentan un tiempo óptimo de cocción significativamente ($p < 0.05$) más bajo en comparación con la pasta control. Las pastas adicionadas con fibra al 6% no presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en comparación con la control (tabla 4). El tiempo óptimo de cocción más bajo se observó para la pasta adicionada con povidexosa, maíz y chícharo al 18%, 8.33

min y 9.33 min, respectivamente. Al 18% de adición de fibra, aparecieron muchos agujeros en la superficie de la pasta lo que sugiere una pasta menos integrada. La reducción en el tiempo de cocción estuvo acompañada por una absorción de agua significativamente menor. Esto significa que el agua puede penetrar más fácilmente en las pastas adicionadas con fibra (12 y 18%) permitiendo una gelatinización de almidón más rápida, lo que redujo el tiempo óptimo de cocción y, en consecuencia, una menor absorción de agua durante la cocción (Rosa-Sibakov et al., 2016). Efecto que, podrían deberse a la diferencia estructural o al mayor tamaño de partículas de las fibras (Foschia et al., 2015). Estos resultados coinciden con los hallazgos de Sozer y colaboradores (2007), quienes descubrieron que los espaguetis adicionados con almidón resistente gelatinizan a un ritmo más rápido comparado con el control elaborado al 100 % de sémola de trigo.

Tabla 4. Propiedades de cocción de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.

Pastas	Tiempo óptimo de cocción (min)	Índice de tolerancia al cocimiento (min)	Incremento de volumen (%)	Grado de absorción de agua (%)	Sólidos disueltos en agua (%)
PC	11.67 ± 0.58 ^d	15.18 ± 0.65 ^g	79.89 ± 0.13 ^j	189.85 ± 0.20 ^j	3.68 ± 0.65 ^a
CH _{6%}	12.33 ± 0.58 ^d	16.09 ± 0.18 ^h	51.89 ± 0.08 ⁱ	137.31 ± 0.41 ^c	4.05 ± 0.47 ^a
CH _{12%}	10.67 ± 0.58 ^c	12.96 ± 0.54 ^{de}	50.40 ± 0.11 ^h	130.75 ± 0.61 ^b	7.26 ± 0.53 ^b
CH _{18%}	9.33 ± 0.58 ^b	12.36 ± 0.79 ^{cd}	47.05 ± 0.13 ^g	123.27 ± 0.58 ^a	8.95 ± 0.71 ^{cd}
PM _{6%}	10.67 ± 0.58 ^c	13.35 ± 0.25 ^{ef}	41.83 ± 0.11 ^f	151.85 ± 0.24 ^g	3.95 ± 0.63 ^a
PM _{12%}	9.67 ± 0.58 ^b	12.48 ± 0.64 ^d	40.47 ± 0.07 ^e	147.92 ± 0.59 ^f	8.33 ± 0.52 ^c
PM _{18%}	9.33 ± 0.58 ^b	11.55 ± 0.48 ^{bc}	36.19 ± 0.06 ^d	140.05 ± 0.52 ^d	11.86 ± 0.57 ^e
PD _{6%}	12.33 ± 0.58 ^d	13.80 ± 0.33 ^f	29.03 ± 0.14 ^c	173.29 ± 0.28 ⁱ	4.34 ± 0.31 ^a
PD _{12%}	9.33 ± 0.58 ^b	10.93 ± 0.32 ^b	24.97 ± 0.01 ^b	167.72 ± 0.58 ^h	9.57 ± 0.34 ^c
PD _{18%}	8.33 ± 0.58 ^a	10.02 ± 0.29 ^a	22.74 ± 0.07 ^a	144.73 ± 1.02 ^e	10.78 ± 0.09 ^e

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

La tabla 4 ilustra que las pastas adicionadas con fibra tienen una disminución significativa en el índice de tolerancia al cocimiento comparado con la pasta control (15.18 min), posiblemente debido a la disminución de proteínas e interrupción de la red de proteínas al adicionar la fibra de chícharo, maíz y povidexrosa. En la formulación de las pastas, la sustitución de la sémola al 6, 12 y 18 % originan una

disminución en la cantidad de gluten y por ende en la matriz proteica, en consecuencia, habrá una menor capacidad de formar una red tridimensional, capaz de contener y mantener ligados a los demás componentes de la misma. De manera análoga, las interrupciones en la matriz de proteínas promueven la absorción de agua y expone los gránulos de almidón a la hinchazón y la ruptura (Kaur et al., 2012).

El incremento de volumen y grado de absorción de agua, son parámetros que proporcionan información sobre la capacidad de absorción de agua del almidón durante el proceso de cocción. Se encontró que el grado de absorción de agua en la pasta está relacionado con el incremento de volumen, es decir, a mayor absorción de agua se obtiene mayor incremento de volumen (tabla 4). Además, la incorporación de la fibra (chícharo, maíz y povidexrosa) al 6, 12 y 18 % redujo significativamente ($p < 0.05$) los valores de incremento de volumen y grado de absorción de agua en comparación con la pasta control. Este comportamiento puede explicarse por las características y naturaleza de las fibra incorporadas. Al ser altamente hidrófilas, es probable que la fibra absorba preferentemente el agua, inhibiendo la hinchazón del almidón y la absorción de agua, lo que a su vez puede alterar la estructura de la pasta producida (Tudorica et al., 2002).

La pérdida de sólidos es uno de los parámetros importantes para evaluar la calidad general de la pasta. Se considera que, una pasta con una pérdida de sólidos menor a 6 g y entre 6 - 8 g / 100 g es de buena calidad, y más de 10 g / 100 g de mala calidad (Silva et al., 2016). Los resultados obtenidos revelaron que la sustitución de sémola de trigo por un 12 y 18 % de fibra de chícharo, maíz y povidexrosa conducen a un aumento significativo de sólidos disueltos ($p < 0.005$). Diversas investigaciones han ilustrado que las pastas adicionadas con fibra pueden exhibir mayores pérdidas de cocción. En 1995, Edwards y colaboradores, informaron que el enriquecimiento de la pasta con fibra de chícharo alteró su estructura, lo que resultó en una reducción moderada de la firmeza y en un aumento de las pérdidas de cocción. Esto se debió al efecto disruptivo que tenía la inclusión de fibra de chícharo en la matriz de proteínas, lo que permitió que los gránulos de almidón se rompieran durante la cocción, liberando así altos niveles de amilosa en el agua de cocción. Más tarde,

Foshia y colaboradores (2015), reportaron que el aumento de sólidos disueltos durante la cocción puede estar relacionado con el debilitamiento de la red de gluten, que es responsable de retener la amilosa durante la cocción. Afirmando que, el incremento de sólidos, está relacionado con una interrupción en la matriz de proteína-almidón y la distribución desigual del agua dentro de la matriz de la pasta debido a las tendencias competitivas de hidratación de la fibra. Finalmente, Martín-Esparza et al., (2018), reportaron que la incorporación de fibra en la formulación de la pasta da como resultado el desarrollo de una red de gluten más débil, donde los gránulos de almidón se capturan mal y, por lo tanto, se lixivian más fácilmente en el agua de cocción.

8.2 Físicoquímicas

En la tabla siguiente se muestran los resultados de las pruebas físicoquímicas realizadas a la pasta control y pastas adicionadas con fibra. El contenido de proteína de las pastas adicionadas con las diferentes fibras disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en comparación al control. Las pastas con menor porcentaje de proteína fueron las sustituidas al 18% por fibra de chícharo, maíz y povidex. Esto pudiera deberse a la sustitución de la fracción de la sémola de trigo por las diferentes fracciones de fibras que durante el proceso de cocción resulta en una mayor pérdida de sólidos solubles ocasionando merma de proteínas y minerales (Torres et al. 2009), que de acuerdo a Doxastakis et al. (2007) las pérdidas por cocción son atribuidas al efecto de dilución que ejerce la fibra que reemplaza a la semolina, en la fuerza del gluten y en el debilitamiento de la estructura total de la pasta, lo que produce en ocasiones la desintegración total del producto. Lo anterior es congruente con los resultados obtenidos, la pérdida de sólidos totales (tabla 4) en pastas adicionadas con fibras, genera un aumento proporcional al porcentaje de sustitución 6, 12 y 18%, debido a la ruptura de la matriz proteica del gluten (Manthey et al., 2004).

Respecto al porcentaje de grasas no hubo diferencia significativa entre la pasta control y las pastas adicionadas con fibra dietaria. Observándose que el porcentaje se mantiene en 1.5 a 2% como lo reporta Zhou et al., (2014), y que corresponde

principalmente a las bajas cantidades que se encuentran en endospermo nativo del cereal que después de la molienda se mantienen en la sémola de trigo. Sin embargo, aunque el contenido de lípidos es relativamente bajo, son de gran importancia durante el desarrollo de la masa, los lípidos se asocian a las proteínas del gluten mediante interacciones específicas y modifican las propiedades de la masa. En lo particular, los glicolípidos, pueden promover interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas entre el gluten y el almidón (Matsuo et al., 1986), favoreciendo la estabilidad tanto de la red de proteína como del almidón (De Noni & Pagani, 2010), esto pudiera asociarse a una mejor calidad de pastas cocida.

El contenido de humedad de las pastas adicionadas con fibras fueron significativamente menores ($p < 0.05$) a la pasta control, este efecto podría estar relacionado con la disminución en el contenido de proteína y aumento de la fibra dietaria, lo que ocasiono una alta porosidad en la estructura de la pasta permitiendo durante el secado mayores valores de difusión térmica en la microestructura de la pasta y por ende una mayor pérdida de humedad (Dotto et al., 2015).

Sin embargo, todas las pastas elaboradas cumplen con las especificaciones de humedad establecidas en la NMX-F-023-S-1980 para pastas alimenticias, en este sentido los niveles de humedad obtenidos demuestran un correcto secado.

En relación a la ceniza y fibra de las pastas adicionadas, los porcentajes se incrementaron significativamente ($p < 0.05$) en comparación de la pasta control al sustituir parcialmente la sémola de trigo por las fibras de chícharo, maíz y povidexrosa. El incremento observado pudiera deberse al aporte de minerales y fibra dietética, tanto insoluble como soluble de las fibras adicionadas (Foschia et al., 2013). Estos incrementos contribuyen significativamente al valor funcional de las pastas desarrolladas.

Tabla 5. Composición química de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.

Pastas	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Fibra dietaría total (%)
PC	11.59 ± 0.12 ^f	1.77 ± 0.05 ^a	9.56 ± 0.06 ^h	0.41 ± 0.03 ^a	1.96 ± 0.02 ^a
CH _{6%}	11.25 ± 0.01 ^e	1.71 ± 0.24 ^a	9.69 ± 0.07 ^h	0.62 ± 0.02 ^{bc}	6.95 ± 0.27 ^b
CH _{12%}	9.38 ± 0.45 ^{cd}	1.67 ± 0.53 ^a	7.57 ± 0.38 ^e	0.85 ± 0.02 ^d	12.13 ± 0.30 ^c
CH _{18%}	9.16 ± 0.13 ^{bc}	1.60 ± 0.02 ^a	7.01 ± 0.04 ^d	0.98 ± 0.02 ^e	18.92 ± 0.95 ^d
PM _{6%}	11.05 ± 0.02 ^e	1.71 ± 0.04 ^a	8.49 ± 0.09 ^f	0.45 ± 0.06 ^a	6.11 ± 0.03 ^b
PM _{12%}	9.69 ± 0.56 ^d	1.45 ± 0.00 ^a	5.70 ± 0.30 ^b	0.86 ± 0.03 ^d	11.56 ± 0.38 ^c
PM _{18%}	8.67 ± 0.20 ^{ab}	1.43 ± 0.02 ^a	5.37 ± 0.30 ^a	0.87 ± 0.07 ^d	18.78 ± 0.21 ^d
PD _{6%}	10.76 ± 0.08 ^e	1.71 ± 0.35 ^a	8.88 ± 0.20 ^g	0.44 ± 0.01 ^a	5.92 ± 0.25 ^b
PD _{12%}	9.40 ± 0.50 ^{cd}	1.65 ± 0.05 ^a	7.11 ± 0.05 ^d	0.59 ± 0.02 ^b	11.32 ± 0.17 ^c
PD _{18%}	8.62 ± 0.19 ^a	1.61 ± 0.09 ^a	6.55 ± 0.07 ^c	0.68 ± 0.02 ^c	17.45 ± 0.31 ^d

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

En virtud de lo anterior, se podría considerar que las pastas desarrolladas si bien no presentan un balance de proteínas ideal, representan buenas fuentes de compuestos funcionales como la fibra dietética.

8.3 Análisis de Perfil de Textura (APT)

La determinación de los parámetros de textura después de la cocción de la pasta es de gran importancia, desde el punto de aceptación del producto por parte de los consumidores y la calidad de la misma. En general, la pasta se consume en un corto período de tiempo después de la cocción, en efecto, una pasta de buena calidad se define como con un alto grado de firmeza y elasticidad, que se denomina "al dente" (Pomeranz, 1987).

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las características de textura de la pasta pueden verse afectadas por el tipo y porcentaje de inclusión de fibra en la pasta. En la tabla 6 se presentan los resultados del Análisis de Perfil de Textura (TPA). El análisis estadístico mostró que los valores para cada atributo de textura determinado (dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad) fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 6. Análisis de Perfil de Textura de pastas alimenticias con fibra.

Pastas	Dureza (N)	Adhesividad (m·J)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Masticabilidad (m·J)
PC	1.24 ± 0.31 ^a	-0.28 ± 0.01 ^a	1.26 ± 0.13 ^c	1.40 ± 0.04 ^b	2.61 ± 0.38 ^a
CH _{6%}	7.21 ± 1.26 ^b	-0.54 ± 0.24 ^a	0.93 ± 0.08 ^b	0.60 ± 0.02 ^a	7.35 ± 1.47 ^{ab}
CH _{12%}	11.31 ± 1.27 ^{bc}	-0.89 ± 0.35 ^{ab}	0.92 ± 0.11 ^b	0.69 ± 0.08 ^a	9.44 ± 1.01 ^{ab}
CH _{18%}	13.22 ± 1.97 ^{cd}	-0.93 ± 0.25 ^{ab}	0.91 ± 0.13 ^b	0.70 ± 0.04 ^a	14.71 ± 1.75 ^{bcd}
PM _{6%}	22.90 ± 3.36 ^e	-1.35 ± 0.25 ^{abc}	0.89 ± 0.11 ^b	0.61 ± 0.28 ^a	12.22 ± 5.32 ^{abc}
PM _{12%}	35.10 ± 5.13 ^g	-2.48 ± 1.62 ^{bc}	0.80 ± 0.07 ^{ab}	0.70 ± 0.18 ^a	20.10 ± 5.08 ^{cdef}
PM _{18%}	44.70 ± 1.66 ^h	-2.75 ± 1.51 ^c	0.74 ± 0.06 ^{ab}	0.78 ± 0.23 ^a	23.85 ± 8.96 ^{def}
PD _{6%}	17.34 ± 1.75 ^d	-0.83 ± 0.11 ^{ab}	0.80 ± 0.14 ^{ab}	0.52 ± 0.11 ^a	16.42 ± 2.00 ^{bcde}
PD _{12%}	23.08 ± 1.27 ^{ef}	-1.15 ± 0.11 ^{abc}	0.62 ± 0.01 ^a	0.82 ± 0.30 ^a	26.36 ± 8.99 ^{ef}
PD _{18%}	28.37 ± 2.26 ^f	-2.62 ± 0.56 ^c	0.59 ± 0.07 ^a	0.88 ± 0.27 ^a	29.70 ± 1.07 ^f

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: pasta con fibra de povidextrosa.

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

Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD.

Los valores de dureza de las pastas que contienen fibra de chícharo, maíz y povidextrosa (6, 12 y 18%) fueron significativamente diferentes del control. La tendencia general observada es un aumento progresivo de la dureza de la pasta al aumentar la concentración de fibra. El aumento en la dureza de la pasta puede estar asociada con el papel de los aditamentos de fibra en la alteración de la matriz de almidón-proteína dentro de la microestructura de la pasta (Tudorica et al., 2002). Esto es consistente con observaciones de Coda et al., (2015), quienes encontraron que la inclusión de fibra de haba resultó en una mayor dureza debido a la red modificada de almidón y proteína, la fibra causaba estructuras más porosas y ruptura de los gránulos de almidón, lo que indujo a la falta de agua en el núcleo de la pasta (menor absorción de agua). Es posible que la adición de fibra presente un comportamiento diferente en la capacidad de gelificación del almidón y en la interacción de almidones y proteínas, favoreciendo el incremento de la dureza observado (Vivas et al., 2018). En consecuencia las pastas exhiben una matriz: almidón- proteína- fibra más rígida, lo que genera que se requiera de una mayor fuerza para provocar la ruptura de la pasta. En este sentido, las pastas con mayor contenido de fibra (maíz, chícharo y povidextrosa) presentan una mayor dureza y masticabilidad (tabla 6), observándose esta relación en pastas sustituidas con

almidón resistente, fibras (Sozer et al., 2017) y harinas de diferentes leguminosas, chícharo, lenteja, garbanzo y haba (Zhao et al, 2005, Rosa-Sibakov et al., 2016).

La adhesividad en las pastas adicionadas con fibra, fueron significativamente más altas que el control ($P < 0.05$); se observó que la adhesividad están estrechamente relacionada con la concentración de fibra, es decir, a mayor porcentaje de fibra adicionada se obtienen valores más altos de adhesividad. Una posible explicación de los resultados observados es que a niveles bajos, la fibra (chícharo, maíz y povidexosa) se incorpora a la matriz de almidón y proteína, convirtiéndose en parte integral de la estructura de la pasta y encapsulando los gránulos de almidón (Brennan et al., 2004). Sin embargo, a altas concentraciones, la fibra adicionada absorbe agua para formar una red semisólida, de estructura reticulada que puede ser discreta de la matriz de proteína- almidón y, de hecho, puede inhibir la integridad estructural de la red, dando como resultado un producto con una naturaleza elástica reducida (Tudorica et al., 2002). Por otro lado, en una revisión, Sissons (2008) explicó que en la pasta, las proteínas de sémola están unidas por enlaces disulfuro, hidrógeno y enlaces hidrófobos para formar una matriz, que le da a la pasta cocida sus propiedades viscoelásticas. La continuidad y la fuerza de la matriz proteica formada dependen de la naturaleza de los enlaces intermoleculares e intramoleculares. Sin embargo, durante el proceso de cocción, esta matriz se desintegra gradualmente, liberando exudados durante la gelatinización de gránulos de almidón, lo que a su vez contribuye a un aumento de la adherencia en la superficie de la pasta cocida (Foschia et al., 2015).

Asimismo, Sozer y colaboradores (2007) puntualizaron que durante la cocción, se producen cambios severos en la microestructura de la pasta. La uniformidad de la pasta seca comienza a cambiar por la difusión del agua desde el exterior hacia el núcleo. Más cerca de la superficie del filamento de espagueti, los cambios son más drásticos, los gránulos de almidón ya no están intactos ya que el núcleo y la matriz de proteínas comienzan a desordenarse debido a la desnaturalización.

Los valores de elasticidad en las pastas adicionadas con fibra son más bajos que el control ($P < 0.05$). Para las tres pastas adicionadas con chícharo, maíz y povidexosa hubo una tendencia a una disminución de la elasticidad con el aumento

del porcentaje de la fibra. Esta reducción de la elasticidad en las pastas se relaciona con el comportamiento disruptivo de la fibra en la unión de proteína-almidón durante la formación de la matriz de pasta (Tudorica et al., 2002), es decir, este comportamiento puede deberse a la interferencia entre la fibra y las cadenas de proteínas (gluten), lo que resulta en una unión más débil de proteína - almidón.

Los productos de pastas elaborados de sémola de trigo duro se caracterizan por la red de proteínas viscoelásticas, responsables de la cohesividad y calidad del producto final (Mariotti et al., 2011). La cohesividad puede ser un indicador de cómo la muestra se mantiene unida al cocinar (Sozer et al., 2007). La cohesividad de la pasta control fue significativamente más alta que en las pastas adicionadas con fibra al 6, 12 y 18% ($P < 0.05$). Sin embargo, entre las pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y povidexosa (6, 12 y 18%) no se encontró diferencia significativa (tabla 6). Esto puede deberse a la disminución de la sémola de trigo y específicamente a las proteínas del gluten al sustituir fracciones de sémola por fibra dietaria. Las propiedades de la sémola de trigo para formar la pasta son derivadas de las proteínas presentes en el gluten. Estas propiedades son regidas por la estructura del gluten y las interacciones que se establecen entre las proteínas (gluteninas y gliadinas) que lo componen, especialmente entre los polímeros de gluteninas unidos por enlaces disulfuro (Lindsay et al 1999). Dichas características son insustituibles, por lo tanto la inclusión de ingredientes como las fibras dietarias que presentan diferente naturaleza química y son polisacáridos no amiláceos, puede influir la estructura de la pasta, posiblemente interrumpiendo la continuidad de la matriz proteína - almidón.

8.4 Color

Uno de los atributos más importantes que definen a una pasta de buena calidad es su color amarillento característico, que se obtiene naturalmente cuando se usa sémola de trigo duro debido a su alto contenido de carotenoides (Bustos et al., 2015). Sin embargo, cuando se adicionan otras materias primas a la formulación, se necesitan pigmentos adicionales para producir pastas con un color amarillento y brillo aceptables.

Los resultados de color de la pasta control y de las pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y povidexrosa se muestran en la tabla 7. El color se vio afectado por la sustitución de la sémola en las pastas adicionadas por fibra de chícharo al 6, 12 y 18%, observándose una disminución significativa ($p < 0.05$) en L^* (luminosidad). Sin embargo para las pastas adicionadas con maíz y povidexrosa (6, 12 y 18%) se vio favorecido, aumentando significativamente la luminosidad L^* .

En las pastas adicionadas, el aumento en el porcentaje de fibra del 6 al 18 por ciento condujo a una disminución significativa ($p < 0.05$) en el color amarillento (b^*) en comparación a la pasta control.

Los valores de a^* para las pastas adicionadas con fibra fueron negativos, lo que significa tonalidades verdes y no rojizas en comparación a la pasta control (0.36).

Estas diferencias en los parámetros de color se deben probablemente a una mayor cantidad de cenizas y a la naturaleza de las diferentes fibras en las pastas (Rosa et al., 2016). Esta variación de color en pastas adicionadas con fibra no es penalizada normalmente por los consumidores, ya que generalmente asocian la pasta rica en fibra dietética con un color más oscuro (Martín-Esparza et al., 2018).

Tabla 7. Resultados de color de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.

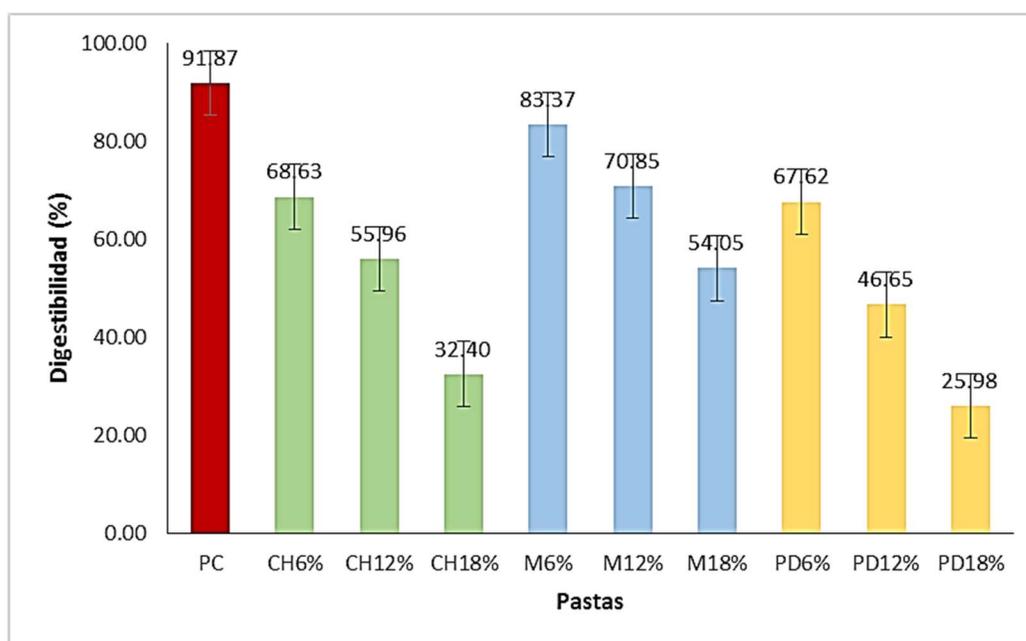
Pastas	L^*		b^*		a^*		Puntuación de color	
PC	56.30 ± 0.58	b	27.25 ± 0.34	ef	0.36 ± 0.07	e	5.54 ± 0.06	c
CH _{6%}	52.77 ± 1.21	a	25.81 ± 0.81	cde	-1.34 ± 0.69	a	5.22 ± 0.05	ab
CH _{12%}	52.78 ± 0.37	a	25.71 ± 0.86	cd	-0.41 ± 0.09	c	5.21 ± 0.10	ab
CH _{18%}	52.80 ± 0.99	a	24.73 ± 0.86	bc	-0.22 ± 0.06	cd	5.11 ± 0.13	a
PM _{6%}	58.48 ± 0.28	d	27.66 ± 1.67	f	-1.35 ± 0.76	a	5.69 ± 0.18	cd
PM _{12%}	60.06 ± 0.61	ef	27.37 ± 0.63	f	-1.28 ± 0.34	a	5.74 ± 0.03	c
PM _{18%}	60.23 ± 0.32	f	26.35 ± 0.37	def	-1.08 ± 0.08	ab	5.65 ± 0.05	cd
PD _{6%}	57.39 ± 0.59	c	27.46 ± 1.23	f	-0.56 ± 0.03	bc	5.62 ± 0.14	cd
PD _{12%}	58.52 ± 0.26	d	24.18 ± 0.51	ab	-0.48 ± 0.18	c	5.34 ± 0.04	b
PD _{18%}	59.09 ± 0.32	de	22.95 ± 0.56	a	-0.10 ± 0.04	cd	5.25 ± 0.07	ab

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

8.5 Digestibilidad de proteínas

De la gráfica 1, es evidente que la incorporación de fibra a las pastas tiene un efecto significativo sobre la digestibilidad de proteínas. A mayor porcentaje de fibra de chícharo, maíz o polidextrosa en la formulación, disminuye significativamente el porcentaje de digestibilidad de proteínas. En las pastas adicionadas al 6, 12 y 18 % con polidextrosa se muestra un menor porcentaje de digestibilidad en comparación a las pastas adicionadas con fibra de chícharo y maíz. Algunas de las razones que pudieran limitar la digestibilidad de proteínas está relacionado con el papel que juegan las propiedades fisicoquímicas de la fibra, capacidad de hidratación y viscosidad. Gracias a la capacidad hidrofílica, retienen agua y nutrientes hidrosolubles, como los azúcares, fijan ácidos biliares y minerales (Wenk., 2001; Sastre., 2003.). La formación de soluciones viscosas, dependiendo de la estructura primaria, del peso molecular del polímero y de su concentración, pueden formar redes semisólidas que ejercen un efecto barrera ante la capacidad de acción de las enzimas digestivas sobre las moléculas de los nutrientes, provocando una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos. Fisiológicamente, estos cambios influyen en la motilidad gastrointestinal, la hidrólisis enzimática y la absorción de nutrientes. (Boclé et al., 2005; Cherbut., 1998; Souffrant., 2001).



Gráfica 1. Digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras

Por tanto, la fibra dietaria podría considerarse como un componente alimenticio con mayor efecto negativo sobre la digestibilidad de proteínas. La razón de la correlación negativa entre la fibra y la digestibilidad de proteínas pudiera deberse a la encapsulación de nutrientes dentro de las células intactas que dificultan la degradación enzimática, tal y como ha sido demostrado en estudios realizados con salvado de avena, goma-guar, maíz, harina de caña, pectinas, lignina (Knudsen et al., 1993; Johansen et al., 1987; Sastre, 2003; Wenk, 2001; Savón, 2002).

Conclusiones

Los resultados ilustran que el uso de fibra dietaria para reemplazar la sémola de trigo duro puede ser posible con el fin de obtener pastas con altos contenidos de fibra. Sin embargo, la adición de fibra en los diferentes porcentajes (6, 12 y 18 %) afectó significativamente la digestibilidad de proteínas y las características de cocción, textura, color y fisicoquímicas. En cuanto a la digestibilidad de proteínas, la pasta adicionada con povidexrosa 18%, una fibra sintética, mostro el porcentaje más bajo de digestibilidad en comparación con las fibras naturales, maíz y chícharo. Aunado a esto, la presencia de fibra en la pasta llevó a un aumento de sólidos disueltos y al deterioro de las características texturales. También, el porcentaje de proteínas de las pastas adicionadas disminuyo al remplazar la sémola por fibra. Además, las pastas crudas adicionadas con fibra mostraron un color más oscuro que el control de la pasta de sémola. Siendo las pastas adicionadas al 12 % y 18 % las más afectadas en todos los parámetros. No obstante, las pastas adicionadas con fibra chícharo fueron las que presentaron mejores características y similitud al comportamiento de la pasta control en cuanto a textura, cocción y pruebas fisicoquímicas en comparación con las adicionadas con fibra de maíz y povidexrosa. Así pues, estos resultados sugieren encontrar un balance y punto óptimo entre porcentaje de fibra y sémola de trigo en donde pueda haber una mejora en las características de cocción, textura y color , pero sobre todo un menor efecto negativo sobre la digestibilidad de proteínas.

Referencias

- A.A.C.C. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (10th Ed.). St. Paul, MN., USA.: American Association of Cereal Chemists.
- A.O.A.C. 2002. Official Method of Analysis (16th Ed.). Washington, D.C., USA: Association of Official Analytical Chemis.
- Anderson, J.& Chen,W. (1979). "Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism", Am. J. Clin. Nutr., 32:346.
- Anguera, A. (2007). Efectos de la fibra soluble cáscaras de Plantano ovata sobre factores lipídicos de riesgo cardiovascular. [Tesis Doctoral en Nutrición y Metabolismo Unidad de Lípidos y Arteriosclerosis]. Reus. España. Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Medicina y Cirugía. Universidad Rovira Virgili. 205 p.
- Antognelli, C. (1980). The manufacture and applications of pasta as a food and as a food ingredient: a review. *J. Food Technol.* 15: 121-145.
- Araya H, Pak N, Vera G, Alviña M (2003) Digestion rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meals. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54: 119-126.
- Arrigoni, E., Caprez, A., Amado, R., Neukom, H. (1986). Chemical composition and physical properties of modified dietary fibre sources. *Food Hydrocolloids*, 1:57-64.
- Belitz,H., Grosh,W.(2000) .Química de los alimentos, 2a edición. Zaragoza, España: Acribia. pp.725.
- Beristain, C., Cruz, F., Lobato, C., Pedroza, R., Rodríguez, M., Verde, J. (2006). Applications of soluble dietary fibers in beverages. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 5(1): 581-95.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein – dye binding. *Analytical Biochemistry*, 7(72), 248–254.
- Brennan, C. S., Kuri, V., & Tudorica, C. M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86(2), 189–193.
- Bustos, M. C., Perez, G. T., & Leon, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *Rsc Advances*, 5(39), 30780-30792.
- Boclé, J.-C., Champ, M., & Berta, J.-L. (2005). Les fibres alimentaires : déterminants physico-chimiques, définition, aspects analytiques et physiologiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 40(1), 15–21.
- Cabo, R. (2007). Dieta y longevidad saludable. *Alimentación Nutrición y Salud* 14(2): 47-58.

Coda, R., Melama, L., Rizzello, C. G., Curiel, J. A., Sibakov, J., Holopainen, U., Sozer, N. (2015). Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. *International Journal of Food Microbiology*, 193: 34–42.

Cheftel, J. C., Cuq, J. L. y Lorient, D. (1989). Proteínas alimentarias. Ed. Acribia. Zaragoza España. p. 346.

Chen, W.-J. L., Anderson, J. W., & Jennings, D. (1984). Propionate May Mediate the Hypocholesterolemic Effects of Certain Soluble Plant Fibers in Cholesterol-Fed Rats. *Experimental Biology and Medicine*, 175(2), 215–218.

Cherbut, CH. (1998). Fibres alimentaires: que deviant l'hypothèse de Burkitt? *Cah Nutrition Diététique*, 33, 95-104.

DEIA. Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria. Edición 20. 2010. ISBN: 978-607-7767-10-7

DEIA. Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria. Edición 20. 2014. <http://www.especialidadalimentaria.com/inicio>

De La Llave, A. (2004). Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación. [Tesis en Licenciatura de Ingeniería de Alimentos]. Cholula, Puebla, México. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 86 p. Defendido en 8 de mayo 2004

De Noni, I., & Pagani, M. A. (2010). Cooking Properties and Heat Damage of Dried Pasta as Influenced by Raw Material Characteristics and Processing Conditions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 465–472.

Dietary Reference Intakes (2001). Proposed definition of dietary fibre. Washington, DC: National Academy Press.

Dotto, G., Pinto, L., Moreira, M. (2015). Determination of the effective thermal diffusivity in a porous bed containing rice grains: effects of moisture content and temperature. *Heat and Mass Transfer*, 52(4), 887–896.

Doxastakis, G., Papageorgiou, M., Mandalou, D., Irakli, M., Papalamprou, E., D'Agostina, A., Arnoldi, A. (2007). Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chemistry*, 101(1), 57–64.

Edwards, N., Biliaderis, C., Dexter, E. (1995). Textural characteristics of whole wheat pasta and pasta containing non starch polysachharides. *J. Food Sci.* 60, 1321-1324.

Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A. y Brennan, C. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality 2 of common cereal products. *Journal of Cereal Science*, 58 (2), 216-227.

Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., Brennan, M. A., & Brennan, C. S. (2015). How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 41–46.

Garrett R. H., y C. M Grisham 2004. Biochemistry Brooks Cole Publisher. Charlottesville, VA, USA. P 1216.

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

Gordon DT & Okuma K (2002) Determination of total dietary fibre in selected foods containing resistant maltodextrin by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *Journal of AOAC International* 85: 435–44.

Guan, J., & Hanna, M. A. (2004). Extruding Foams from Corn Starch Acetate and Native Corn Starch†. *Biomacromolecules*, 5(6), 2329–2339.

Hoseney, C. (1991). Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Acribia. Zaragoza, España. p. 269-274.

Jenkins, DJA ., Jenkins ,AL ., Wolever, TMS ., Collier, GR ., Rao AV., Thompson LU. (1987). Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. *Scand. J. Gastroenterol.* 22: 131-141.

Jie, Z., Bang-yao, L., Ming-jie, X., Hai-wei, L., Zu-kang, Z., Ting-song, W., & Craig, S. A. (2000). Studies on the effects of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(6), 1503–1509.

Johansen, H. N., Bach Knudsen, K. E., Wood, P. J., & Fulcher, R. G. (1997). Physicochemical properties and the digestibility of polysaccharides from oats in the gastrointestinal tract of pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73, 81-92.

Kaur G, Sharma S, Nagi HPS, Dar BN. (2012). Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans. *J Food Sci Tech Mys.* 49(4), 467–474.

Kent, N. L. (1987). Tecnología de los cereales. Zaragoza, España: Acribia.

Knudsen, K. E. B., Jensen, B. B., Hansen, I. (1993). Digestion of polysaccharides and other major components in the small and large intestine of pigs fed on diets consisting of oat fractions rich in β -D-glucan. *British Journal of Nutrition*, 70(02), 537.

Knutzon, C., Grove, M. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 71(5), 469-471.

Lindsay M.P., Skerritt J.H. (1999). The glutenin macropolymer of wheat flour dough: structure - function perspectives. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 247-253.

Lizardo, R. (1997). Exploration adaptation de la capacité digestive du porcelet après le sevrage: effets des facteurs antinutritionnels et des polysaccharides non amidés sur l'activité des enzymes, la digestibilité et les performances zootéchniques.[Thèse de Doctorat]. France: Université de Rennes I.

Low, AG. (1976). Digestion and absorption of nutrients in growing pigs. *Proc Nutr Soc*; 35:57-62.

- Martín-Esparza, M. E., Raigón, M. D., Raga, A., & Albors, A. (2018). High fibre tiger nut pasta and xanthan gum: cooking quality, microstructure, physico-chemical properties and consumer acceptance. *Food Science and Biotechnology*, 27(4), 1075–1084.
- Mariotti M, Iametti S, Cappa C, Rasmussen P, Lucisano M. (2011). Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *J Cereal Sci*, 53(3): 319–327.
- Mataix J, Sánchez de Medina F. (2002). Proteínas. En: Mataix Verdú J (ed). Nutrición y alimentación humana, vol I. Ergón. Madrid: 96-111.
- Mataix, J. y Carazo, E. (1995). Nutrición para Educadores. Editores Díaz De Santos. S. A., España, p. 2.
- Matsuo, R., Dexter, E., MacGregor, A. (1982). Effect of sprout damage on durum wheat and spaghetti quality. *Cereal Chemistry*, 59(6), 468–472.
- Manthey, F. A., Yalla, S. R., Dick, T. J., & Badaruddin, M. (2004). Extrusion Properties and Cooking Quality of Spaghetti Containing Buckwheat Bran Flour. *Cereal Chemistry Journal*, 81(2), 232–236.
- Martínez, E., Mañas, M., Yago, MD. (2005) Fisiología de la Digestión. En: Tratado de Nutrición Tomo I. A. Gil editor. Acción Médica. Madrid; 249-293.
- McKee T. y J. R. McKee. (2003). Bioquímica. La base molecular de la vida. Editorial McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España. p 773.
- Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. (2013). Tablas de composición de alimentos. Guía de prácticas. Ediciones Pirámide. 16ª edición.
- NMX-F-023-S-1980.Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- Periago, M., Ros, G., López, G., Gutiérrez, M.C. & Rincón, F.1993.Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. *Rev. Esp. Cienc.Tecnol. Alimentos*. 53:229
- Pomeranz, Y. (1987). Modern cereal science and technology. New York, USA; pp. 121–122.
- Priego, M. (2007). Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de Naranja aplicando un Tratamiento con Vapor. [Tesis para obtener el título de Ingeniero en Alimentos]. Huajuapán de León. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca. 64p.
- Rao, A. V. (1999). Dose-Response Effects of Inulin and Oligofructose on Intestinal Bifidogenesis Effects. *The Journal of Nutrition*, 129(7), 1442S- 1445S.
- Roehrig, K. L. (1988). The physiological effects of dietary fiber—a review. *Food Hydrocolloids*, 2(1), 1–18.

Rosa-Sibakov, N., Heiniö, R.-L., Cassan, D., Holopainen-Mantila, U., Micard, V., Lantto, R., & Sozer, N. (2016). Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 27–36.

Roturier JM & Looten P (2006) NUTRIOSE®: analytical aspects. Proceedings of the Dietary Fibre Conference. Helsinki, Finland, P15.

Roturier JM, Looten P & Ostermann E (2003) Dietary fibre measurements in food containing NUTRIOSE® FB. Proceedings of the Dietary Fibre Conference. Noordwijkerhout, P4.

Rubianes M.J. (2007). Prolaminas y marcadores moleculares relacionados con la calidad en Trigo Duro (*Triticum turgidum* L.). (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid: España.

Savón, L. (2002). Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36 (2), 91-102.

Sastre, A. (2003). Fiber and prebiotics: concepts and perspectives. *Gastroenterol Hepatol*; 26(Supl.1), 6-12.

Silva, E. M. M. da, Ascheri, J. L. R., & Ascheri, D. P. R. (2016). Quality assessment of gluten free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. *LWT Food Science and Technology*, 68, 698–706.

Sissons, M. (2004). Pasta. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Australia, chapter 1, 409-418.

Sozer, N., Dalgıç, A. C., & Kaya, A. (2007). Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 476–484.

Souffrant, W. B. (2001). Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 93–102.

Thomas, H., D.; Atwell, W. (1999). *Starches. Practical guides for the food industry*. American Association of Cereal Chemist. St. Paul Minnesota, USA: Egan Press. p. 1-87.

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

Torres, C., Griselda, I. (2014). Metabolismo de proteínas. *Rev. Act. Clin. Med* [online]. vol. 41 pp. 2137-2141

Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43(2), 450–460.

Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Loyola, A. S., Sagum, R. S., & Encabo, R. R. (2009). The potential health benefits of legumes as a good source of dietary fibre. *British Journal of Nutrition*, 103(04), 569-574.

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.

Vivas, O., Sangronis, E. (2018). Perfil de textura instrumental y sensorial de pastas elaboradas con Cajanus cajan fermentada. *Rev Fac Farm*, 60(1), 31-36.

Zarco, H., Michelena, A., Royo, C. (1999). Calidad del trigo duro en España. Cultivos extensivos. Disponible en: http://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/41594/pdf_vrural_Vrural_1999_92_22_28.pdf?sequence=1

Zhao YH, Manthey FA, Chang SK, Hou H, Yuan S.(2005).Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *J Food Sci*. 2005, 70(6): 371-376.

Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N. (2014). *Bakery Products Science and Technology*. Second Edition. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. Hoboken, NJ 07030-5774, USA. 783 p.

Zúñiga, M. (2005). Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. [Tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica]. Asesor. Dr. Peña Álvaro y Chiffelle Italo. Santiago. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58 p.

Wenk, C. (2001). The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 21–33.

ANEXO 1

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

AVANCES EN INGENIERÍA QUÍMICA

Vol. 1, No. 2



XLI
Encuentro
Nacional

La Ingeniería Química, el Desarrollo Nacional
y la Responsabilidad Social

Memorias del XLI Encuentro Nacional del AMIDIQ

Evento virtual del 22 al 24 de octubre 2020

EVALUACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS ADICIONADAS CON DIFERENTES FIBRAS

Nayely Valeriano-García^a, Alfonso Sánchez-Totosaus^a, Ruth Pedroza-Islas^b, María Eva Rodríguez-Huezo^a,

^aDepartamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico S/N, Col. Valle de Anáhuac Ecatepec de Morelos, Estado de México., 55210, México. eva_rodriguez_huezo@hotmail.com

^bDepartamento de Alimentos, Universidad Iberoamericana, Lomas de Santa Fe, Ciudad de México., 01219, México.

Resumen

Se elaboró una pasta control (PC) con 100% sémola de trigo durum y pastas adicionadas con fibra de chícharo (PCH) y maíz (PM) y povidex (PD) al 6, 12 y 18 %. El contenido de humedad y proteína disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en las pastas adicionadas con fibra en comparación a de la pasta control, mientras que el contenido de cenizas y fibra aumentaron significativamente. En cuanto al contenido de grasa no hubo diferencia significativamente ($p < 0.05$) entre el control y las pastas adicionadas. En las pruebas de cocción se encontró una disminución significativa en el tiempo óptimo de cocción, índice de tolerancia al crecimiento, incremento de volumen y grado de absorción de agua en todas las pastas adicionadas con fibra. Sin embargo, al incrementar el contenido de fibra 6, 12 y 18% aumento significativamente la concentración de sólidos disueltos en agua. Respecto al Análisis de Perfil de Textura (TPA), la dureza y adhesividad en la PC fue significativamente menor en comparación a las pastas adicionadas con fibra. La elasticidad, cohesividad y masticabilidad incrementaron significativamente al aumentar la cantidad de fibra de 6 a 18%. Finalmente, la digestibilidad de proteínas se vio afectada por la presencia de fibra. A mayor porcentaje de fibra (chícharo, maíz y poli dextrosa) en la formulación, menor porcentaje de digestibilidad. Las pastas adicionadas con povidex, mostraron el porcentaje más bajo de digestibilidad en comparación a la pasta control (91.87 %).

Introducción

La pasta es un producto alimenticio tradicional elaborado a base de cereales (*Triticum durum*), de alto consumo debido a su bajo costo, conveniencia, palatabilidad, bajo aporte de grasa y sodio y baja respuesta glicémica [1]. Sin embargo la pasta de trigo es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de grasa y fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína, [2]. En ese sentido, diversos estudios [3] han sido orientados hacia la elaboración de pastas alimenticias, utilizando harinas de otros cereales, harinas de oleaginosas, leguminosas, carnes, huevos o vegetales para mejorar las características nutricionales en cuanto a proteínas y aminoácidos esenciales. Dentro de los vegetales más utilizados en la elaboración de pastas se señalan la espinaca, acelgas, brócoli, tomate, zanahorias y remolachas. En cuanto al desarrollo de pastas con fines funcionales, se han utilizado fibras provenientes del maíz, chícharo, caña, cebada, avena, etc., que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos y llegan intactas al colon donde algunas pueden ser hidrolizadas y fermentadas por la flora colónica, generando beneficios para la salud [4].

Metodología

Las pastas fueron elaboradas a partir de sémola de trigo durum comercial (Flor y vida®, Soyita Cereal S.A. de C.V.), agua, colorante amarillo huevo (Deiman®) y diferentes tipos de fibras: fibra de chícharo (Roquette), fibra de maíz (Nutriose® fm10, Roquette) y povidex (Litesse Ultra®, DuPont™, Danisco®). Se elaboró una pasta control con 100% sémola de trigo durum y pastas sustituyendo la sémola por fibra al 6, 12 y 18%. Para la elaboración de las pastas se tamizó la sémola de trigo con una malla del número 40 (0.038mm). La fibra y el colorante (0.005% p/p) se hidrataron durante 10 min en agua (50% con base al peso seco de la muestra). Las materias primas fueron mezcladas con ayuda de una pala de madera por 5 min obteniendo una mezcla homogénea, posteriormente se dejó reposar en un bol durante

10 min. Consecutivamente las pastas se laminaron 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. Los análisis fisicoquímicos (AACC 2000) realizados fueron humedad, lípidos, proteína bajo el método oficial 44-19, 920.39, 960.52 respectivamente, ceniza (método 08-01 de la AACC 2000) y fibra dietaria total (16 AOAC). Por otro lado, se realizaron las pruebas de cocción bajo el método 66-50 de la AACC (2000); tiempo óptimo de cocción, grado de absorción de agua, incremento de volumen, volumen de pasta cruda, volumen de pasta cocida, sólidos disueltos e índice de tolerancia al crecimiento. El Análisis de Perfil de Textura (TPA) se realizó con el equipo Brookfield CT3 a una velocidad de 2,0 mm/s, 70% de deformación y un tiempo de recuperación de 10 segundos. Finalmente se determinó la digestibilidad de proteínas *in vitro* [5]. La pasta control y las pastas adicionadas con fibra se sometieron a una digestión gastrointestinal simulada de la siguiente manera: se homogeneizó 1 g de pasta previamente cocida en un mezclador de laboratorio Stomacher durante 1 minuto para simular la masticación en presencia de 15 ml de fluido salival simulado; y posteriormente, las muestras se agitaron durante 10 minutos a 37°C. Las muestras se ajustaron a pH = 1,2 usando 5 mol / l de HCl; y posteriormente, se añadieron 15 ml de fluido gástrico simulado. Las muestras se agitaron durante 60 minutos a 37°C. Después de la digestión con el fluido gástrico, las muestras se ajustaron a pH = 6 con 0,1 mol / L de NaHCO₃ y luego se añadieron 15 ml de una mezcla de extracto de pancreatina. Los extractos se ajustaron a pH = 7 con 1 mol / L de NaOH y finalmente se añadieron 5 ml de 120 mmol / L de NaCl y 5 ml de mmol / L de KCl a cada muestra. Una vez preparadas, las muestras se sometieron a digestión *in vitro* durante 120 minutos, a 37 ° C y 100 rpm. Posteriormente, se determinó el contenido de proteína por el método de Bradford [6].

Resultados (Times New Roman 12 pt, negrita)

La evaluación correcta de la calidad de cocción de una pasta requiere la consideración de una serie de factores que incluyen tiempo de cocción, tolerancia de cocción, incremento de volumen, absorción de agua y pérdida de sólidos en el agua de cocción. Las propiedades de cocción de la pasta de control (100% sémola de trigo) y las muestras de pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y povidexrosa se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de cocción de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y povidexrosa al 6, 12 y 18%.

Pastas	Tiempo óptimo de cocción (min)	Índice de tolerancia al cocimiento (min)	Incremento de volumen (%)	Grado de absorción de agua (%)	Sólidos disueltos en agua (%)
PC	11.67 ± 0.58 ^d	15.18 ± 0.65 ^g	79.89 ± 0.13 ^j	189.85 ± 0.20 ^j	3.68 ± 0.65 ^a
CH _{6%}	12.33 ± 0.58 ^d	16.09 ± 0.18 ^h	51.89 ± 0.08 ⁱ	137.31 ± 0.41 ^c	4.05 ± 0.47 ^a
CH _{12%}	10.67 ± 0.58 ^c	12.96 ± 0.54 ^{de}	50.40 ± 0.11 ^h	130.75 ± 0.61 ^b	7.26 ± 0.53 ^b
CH _{18%}	9.33 ± 0.58 ^b	12.36 ± 0.79 ^{cd}	47.05 ± 0.13 ^g	123.27 ± 0.58 ^a	8.95 ± 0.71 ^{cd}
M _{6%}	10.67 ± 0.58 ^c	13.35 ± 0.25 ^{ef}	41.83 ± 0.11 ^f	151.85 ± 0.24 ^g	3.95 ± 0.63 ^a
M _{12%}	9.67 ± 0.58 ^b	12.48 ± 0.64 ^d	40.47 ± 0.07 ^e	147.92 ± 0.59 ^f	8.33 ± 0.52 ^c
M _{18%}	9.33 ± 0.58 ^b	11.55 ± 0.48 ^{bc}	36.19 ± 0.06 ^d	140.05 ± 0.52 ^d	11.86 ± 0.57 ^e
PD _{6%}	12.33 ± 0.58 ^d	13.80 ± 0.33 ^f	29.03 ± 0.14 ^c	173.29 ± 0.28 ⁱ	4.34 ± 0.31 ^a
PD _{12%}	9.33 ± 0.58 ^b	10.93 ± 0.32 ^b	24.97 ± 0.01 ^b	167.72 ± 0.58 ^h	9.57 ± 0.34 ^c
PD _{18%}	8.33 ± 0.58 ^a	10.02 ± 0.29 ^a	22.74 ± 0.07 ^a	144.73 ± 1.02 ^e	10.78 ± 0.09 ^e

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la caracterización química de la pasta control y las pastas adicionadas con fibra de chícharo, maíz y polidextrosa .

Tabla 2. Composición química de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y polidextrosa al 6, 12 y 18%.

Pastas	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Fibra dietaria total (%)
PC	11.59 ± 0.12 ^f	1.77 ± 0.05 ^a	9.56 ± 0.06 ^h	0.41 ± 0.03 ^a	1.96 ± 0.02 ^a
CH6%	11.25 ± 0.01 ^e	1.71 ± 0.24 ^a	9.69 ± 0.07 ^h	0.62 ± 0.02 ^{bc}	6.95 ± 0.27 ^c
CH12%	9.38 ± 0.45 ^{cd}	1.67 ± 0.53 ^a	7.57 ± 0.38 ^e	0.85 ± 0.02 ^d	12.13 ± 0.30 ^e
CH18%	9.16 ± 0.13 ^{bc}	1.60 ± 0.02 ^a	7.01 ± 0.04 ^d	0.98 ± 0.02 ^e	18.92 ± 0.95 ^g
M6%	11.05 ± 0.02 ^e	1.71 ± 0.04 ^a	8.49 ± 0.09 ^f	0.45 ± 0.06 ^a	6.11 ± 0.03 ^b
M12%	9.69 ± 0.56 ^d	1.45 ± 0.00 ^a	5.70 ± 0.30 ^b	0.86 ± 0.03 ^d	11.56 ± 0.38 ^{de}
M18%	8.67 ± 0.20 ^{ab}	1.43 ± 0.02 ^a	5.37 ± 0.30 ^a	0.87 ± 0.07 ^d	18.78 ± 0.21 ^g
PD6%	10.76 ± 0.08 ^e	1.71 ± 0.35 ^a	8.88 ± 0.20 ^g	0.44 ± 0.01 ^a	5.92 ± 0.25 ^b
PD12%	9.40 ± 0.50 ^{cd}	1.65 ± 0.05 ^a	7.11 ± 0.05 ^d	0.59 ± 0.02 ^b	11.32 ± 0.17 ^d
PD18%	8.62 ± 0.19 ^a	1.61 ± 0.09 ^a	6.55 ± 0.07 ^c	0.68 ± 0.02 ^c	17.45 ± 0.31 ^f

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las características de textura de la pasta pueden verse afectadas por el tipo y porcentaje de inclusión de fibra en la pasta. En la tabla 3 se presentan los resultados del Análisis de Perfil de Textura (TPA). El análisis estadístico mostró que los valores para cada atributo de textura en las pastas adicionada con fibra de chícharo, maíz y polidextrosa determinado (dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad) fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) en comparación al control.

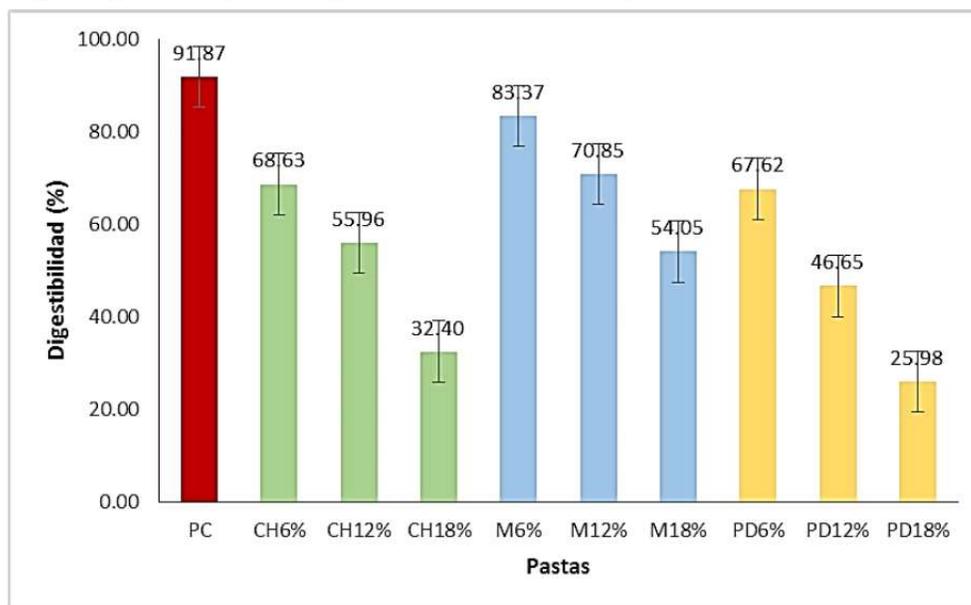
Tabla 3. Análisis de Perfil de Textura (TPA) de pastas elaboradas de sémola de trigo (100%), fibra de chícharo, maíz y polidextrosa al 6, 12 y 18%.

Pastas	Dureza (N)	Adhesividad (m·J)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Masticabilidad (m·J)
PC	1.24 ± 0.31 ^a	-0.28 ± 0.01 ^a	1.26 ± 0.13 ^c	1.40 ± 0.04 ^b	2.61 ± 0.38 ^a
CH6%	7.21 ± 1.26 ^b	-0.54 ± 0.24 ^a	0.93 ± 0.08 ^b	0.60 ± 0.02 ^a	7.35 ± 1.47 ^{ab}
CH12%	11.31 ± 1.27 ^{bc}	-0.89 ± 0.35 ^{ab}	0.92 ± 0.11 ^b	0.69 ± 0.08 ^a	9.44 ± 1.01 ^{ab}
CH18%	13.22 ± 1.97 ^{cd}	-0.93 ± 0.25 ^{ab}	0.91 ± 0.13 ^b	0.70 ± 0.04 ^a	14.71 ± 1.75 ^{bcd}
M6%	22.90 ± 3.36 ^e	-1.35 ± 0.25 ^{abc}	0.89 ± 0.11 ^b	0.61 ± 0.28 ^a	12.22 ± 5.32 ^{abc}
M12%	35.10 ± 5.13 ^g	-2.48 ± 1.62 ^{bc}	0.80 ± 0.07 ^{ab}	0.70 ± 0.18 ^a	20.10 ± 5.08 ^{cdef}
M18%	44.70 ± 1.66 ^h	-2.75 ± 1.51 ^c	0.74 ± 0.06 ^{ab}	0.78 ± 0.23 ^a	23.85 ± 8.96 ^{def}
PD6%	17.34 ± 1.75 ^d	-0.83 ± 0.11 ^{ab}	0.80 ± 0.14 ^{ab}	0.52 ± 0.11 ^a	16.42 ± 2.00 ^{bcde}
PD12%	23.08 ± 1.27 ^{ef}	-1.15 ± 0.11 ^{abc}	0.62 ± 0.01 ^a	0.82 ± 0.30 ^a	26.36 ± 8.99 ^{ef}
PD18%	28.37 ± 2.26 ^f	-2.62 ± 0.56 ^c	0.59 ± 0.07 ^a	0.88 ± 0.27 ^a	29.70 ± 1.07 ^f

PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

La incorporación de fibra en las pastas tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en la digestibilidad de proteínas (grafica 1). La digestibilidad proteica más bajas 32.40% y 25.98% se determinó para las pastas adicionadas con fibra de chícharo (18%) y polidextrosa (18%) respectivamente.

Grafica 1. Digestibilidad de proteínas en pastas alimenticias adicionadas con fibras.



PC: pasta control, CH: pasta con fibra de chícharo PM: pasta con fibra de maíz y PD: 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.

Conclusiones

Las propiedades de la sémola de trigo para formar la pasta son derivadas de las proteínas presentes en el gluten. Estas propiedades son regidas por la estructura del gluten y las interacciones que se establecen entre las proteínas (gluteninas y gliadinas) que lo componen, especialmente entre los polímeros de gluteninas unidos por enlaces disulfuro [7]. Dichas características son insustituibles, por lo tanto la inclusión de ingredientes como las fibras dietarias que presentan diferente naturaleza química y son polisacáridos no amiláceos, puede influir en la estructura de la pasta, posiblemente interrumpiendo la continuidad de la matriz proteína – almidón. Dando como resultado efectos negativos en la textura y propiedades de cocción. También, la fibra tuvo un efecto significativo sobre la digestibilidad de proteínas. Este efecto pudiera deberse a la alta capacidad de absorción de moléculas orgánicas (lípidos, glucosa, aminoácidos, proteínas, vitaminas y minerales) característico de la fibra dietaría.

Referencias

1. Foschia, M., P. Donatella., A. Sensidoni ., M.A. Brennan., C.S. Brennan. “*Synergistic effect of different dietary fibres in pasta on in vitro starch digestion?*” Food Science and Technology, No. 1, p. 245-250, 2015.
2. Monaco, R.D., Cavella, S., Marzo, D.S., Masi, P. “*The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta*”, Food Quality and Preference, No.15, p. 429-437, 2004.
3. Gurkirat, K. & Savita, S. “*Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans*”, Journal of Food Science and Technology, No. 44, p. 467-464, 2012.
4. Simonato, B., A. Curiori., G. Pasini. “*Digestibility of pasta made with three wheat types: A preliminary study*”, Food Chemistry, No.174, p. 219-225, 2015.
5. Gawlik-Dziki, U., Jezyna, M., S' wieca, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czy z, J. “*Effect of bioaccessibility of phenolic compounds on in vitro anticancer activity of broccoli sprouts*”, Food Research International, No.49, p. 469–476, 2012.
6. Bradford, M. M. “*A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein – dye binding*”, Analytical Biochemistry, No. 72, p. 248–254, 1976.
7. Sozer, N., Dalgıç, A. C., & Kaya, A. “*Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch*”, Journal of Food Engineering, No.812, p. 476 484, 2007.

AMIDIOQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.



Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Nayely Valeriano García, Alfonso Sánchez Totosaus, Ruth Pedroza Islas, María Eva RodríguezHuezo

Por la presentación del trabajo:

EVALUACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS ADICIONADAS CON DIFERENTES FIBRAS

ID: 755

Dra. María del Rosario Enriquez Rosado
PRESIDENTE DEL AMIDIOQ Y DEL COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. Tomás Viveros García
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

Evento virtual del 22 al 24 de octubre 2020