



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**Evaluación de las propiedades físico-químicas de pastas
con bajo contenido de gluten elaboradas a partir de
sémola de trigo (*Triticum durum*) complementadas con
harina de chayotextle (*Sechium edule*).**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS
PRESENTA**

ING. LIZBETH GONZÁLEZ VICTORIANO

Directora:

Dra. Norma Güemes Vera

Asesores:

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

M. en C. Sergio Soto Simental

Dra. Aurora Quintero Lira



Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Octubre 2014.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: **“Evaluación de las propiedades físico-químicas de pastas con bajo contenido de gluten, elaboradas a partir de sémola de trigo (*Triticum durum*), complementadas con harina de chayotextle (*Sechium edule*).”**, que desarrolla la estudiante I.A. Lizbeth González Victoriano.

Asistentes:

Dra. Norma Güemes Vera
Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
M. en C. Sergio Soto Simental
Dra. Aurora Quintero Lira

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la I.A. Lizbeth González Victoriano, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría en el área de su estudio.

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 01 de octubre del 2014

Dra. Norma Güemes Vera
Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
M. en C. Sergio Soto Simental
Dra. Aurora Quintero Lira



AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de Maestría.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por el soporte institucional dado para la realización de este trabajo.

Al Centro de Productos Bióticos (CEPROBI) - IPN, por brindarme la oportunidad de realizar parte de la investigación en sus instalaciones.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas, por esto y más, le doy gracias a Dios, porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, siempre apoyándome y brindándome su amor, les agradezco de todo corazón que estén a mi lado.

Hago extensivo mi más sincero agradecimiento a todas las personas que se involucraron a lo largo de mi trayectoria como estudiante de maestría, porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy, principalmente a la Dra. Norma Güemes Vera, por la orientación, el seguimiento, la supervisión continúa, la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años, pero sobre todo por ser como una segunda madre para mí, la quiero mucho.

A Eli, Beti, Esme y Faby hermanas a pesar del poco tiempo que convivimos debido a que cada una tiene sus propias ocupaciones, les agradezco de todo corazón el apoyo brindado y por estar conmigo cuando más lo necesitaba, las quiero mucho.

A Jessica, Michael, Hilda y por supuesto a la pequeña Zayra, queridos amigos les agradezco con toda mi alma que estén conmigo en esta etapa tan importante para mí, pero sobre todo por haber llegado a mi vida y compartir momentos agradables y tristes, esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean los quiero mucho ☺.

A mis compañeros y amigos de generación Nancy, Ángel, Wendy, Humberto, Eva y Cesar agradezco el apoyo incondicional y cada momento compartido durante este trayecto, por demostrarme que podemos ser grandes amigos y compañeros de trabajo a la vez.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, en especial a la Dra. Aurora, al Maestro Sergio y al Dr. Juan Pablo, por haber tomado parte de su valioso tiempo para apoyarme, a todos y cada uno de ellos les estaré muy agradecida.

Con mucho cariño

Lizbeth

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar” (Thomas Chalmers).

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II MARCO TEORICO	3
2.1 Características generales de raíces y tubérculos.....	3
2.2 Principales fuentes de almidón.....	3
2.3 Chayote (<i>Sechium edule</i>).....	4
2.3.1 Composición química de la raíz tuberizada del chayote (chayotextle).....	6
2.4 Características generales de los cereales.....	8
2.4.1 Usos generales de los cereales.....	9
2.4.2 Valor nutritivo de los cereales.....	9
2.4.3 Composición química proximal de los cereales.....	10
2.5 Trigo (<i>Triticum durum</i>).....	12
2.5.1 Clasificación del trigo.....	13
2.5.2 Contenido proteico.....	15
2.5.3 Proteínas del trigo.....	15
2.6 Generalidades del almidón.....	16
2.6.1 Estructura del gránulo de almidón.....	17
2.6.2 Propiedades térmicas del almidón.....	18
2.6.3 Gelatinización.....	19
2.6.4 Gelificación.....	21
2.6.5 Retrogradación.....	21
2.6.6 Digestibilidad del almidón.....	22
2.7 Enfermedad celiaca (enteropatía del gluten).....	22
2.8 Pastas.....	24
2.8.1 Pastas libres de gluten.....	25

2.8.2	Clasificación de pastas.....	26
2.8.3	Materiales para la elaboración de pastas libres de gluten (PLG).....	26
2.8.4	Propiedades de harinas de almidón sin gluten.....	27
2.9	Tecnología de procesamiento para la elaboración de pastas.....	28
2.9.1	Tecnología moderna de procesamiento.....	28
III	JUSTIFICACION.....	30
IV	OBJETIVOS.....	31
4.1	Objetivo general.....	31
4.2	Objetivos específicos.....	31
V	MATERIALES Y METODOS.....	32
5.1	Materia prima.....	32
5.2	Obtención de harina de chayotextle.....	32
5.3	Pre-gelatinización de harina de chayotextle y sémola de trigo.....	33
5.4	Diseño de tratamientos.....	34
5.5	Actividad de agua (<i>Aw</i>).....	34
5.6	Determinación de contenido de humedad.....	35
5.7	Evaluación de la digestibilidad.....	35
5.8	Cuantificación de gluten.....	36
5.9	Pruebas de textura para las masas.....	36
5.9.1	Análisis de perfil de textura.....	37
5.9.2	Extensibilidad de masas.....	38
5.10	Elaboración de pastas.....	39
5.11	Evaluación de calidad de pastas.....	39
5.11.1	Extensibilidad de pastas.....	39
5.11.2	Determinación de color en pastas.....	40
5.11.3	Evaluación sensorial.....	41
5.12	Análisis químico proximal.....	41
5.13	Análisis estadístico.....	42

VI	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43
6.1	Pre - gelatinización de harinas.....	43
6.2	Contenido de humedad de harinas nativas y pre-gelatinizadas.....	43
6.3	Actividad de agua de harinas nativas y pre-gelatinizadas.....	45
6.4	Contenido de gluten.....	46
6.5	Análisis de Perfil de Textura en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle (harinas nativas).....	47
6.5.1	Dureza.....	47
6.5.2	Adhesividad.....	49
6.5.3	Cohesividad.....	49
6.5.4	Elasticidad.....	50
6.6	Análisis de Perfil de Textura en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle (pre-gelatinizadas).....	51
6.7	Extensibilidad de masas.....	53
6.7.1	Harinas nativas.....	53
6.7.2	Harinas pre-gelatinizadas.....	54
6.8	Digestibilidad e hidrolisis de almidón en harinas nativas.....	55
6.8.1	Almidón disponible.....	55
6.8.2	Almidón resistente.....	56
6.8.3	Almidón total.....	57
6.9	Calidad de pastas.....	57
6.9.1	Extensibilidad de pastas.....	57
6.9.2	Digestibilidad e hidrolisis del almidón en pastas (bio-disponibilidad).....	59
6.9.3	Color de pastas.....	61
6.9.4	Análisis sensorial.....	63
6.10	Análisis químico proximal.....	65
VII	CONCLUSIONES.....	67
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tubérculo de chayote (<i>Sechium edule</i>) cultivado en México.....	6
Figura 2	Estructura anatómica del grano de trigo (CANIMOLT).....	13
Figura 3	Estructura química y representación esquemática del almidón (a) amilosa y (b) amilopectina.....	18
Figura 4	Representación esquemática de las transiciones de fase del almidón durante el proceso térmico y envejecimiento.....	20
Figura 5	Esquema general para el proceso de fideos	28
Figura 6	Sémola de trigo y harina de chayotextle (nativas).....	32
Figura 7	Harinas pre-gelatinizadas (sémola de trigo y harina de chayotextle)...	33
Figura 8	Determinación de Aw (equipo HygroLab)	35
Figura 9	Texturómetro Brookfield	37
Figura 10	Acondicionamiento de la muestra para el APT.....	37
Figura 11	Acondicionamiento de la muestra para la prueba de extensibilidad ...	38
Figura 12	Prueba de extensibilidad de masas.....	38
Figura 13	Laminado y corte de la masa (tallarines).....	39
Figura 14	Prueba de extensibilidad de pastas.....	40
Figura 15	Formato empleado para el análisis sensorial de pastas.....	41
Figura 16	Color de pastas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	62
Figura 17	Resultados obtenidos en la prueba de análisis sensorial.....	64

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Composición química del fruto, tallos jóvenes y raíces de <i>Sechium edule Sw</i>	7
Cuadro 2	Composición química del tubérculo de chayote y papa (g /100g de muestra).....	8
Cuadro 3	Clasificación del trigo de acuerdo a su uso.....	14
Cuadro 4	Condiciones de la muestra para la pre-gelatinización.....	33
Cuadro 5	Formulación de mezclas, elaboradas con sémola de trigo y harina de chayotextle.....	34
Cuadro 6	Contenido de humedad en harinas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	44
Cuadro 7	Efectos de <i>Aw</i> de sémola de trigo sustituida con harina de chayotextle.....	46
Cuadro 8	Contenido de gluten en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	47
Cuadro 9	Efectos de la dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	48
Cuadro 10	Efectos de la dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en masas pre-gelatinizadas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle	52
Cuadro 11	Efectos de la extensibilidad en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	54
Cuadro 12	Porcentaje de almidón disponible (AD), resistente (AR) y total (AT) presente en harinas nativas.....	56
Cuadro 13	Efectos de la extensibilidad de pastas elaboradas a partir de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	58
Cuadro 14	Porcentaje de almidón disponible (AD), resistente (AR) y total (AT), presente en pastas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	59
Cuadro 15	Efectos del color en pastas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.....	61
Cuadro 16	Análisis químico proximal de harina de chayotextle y pastas.....	65

RESUMEN

Existen varios reportes referentes a modificar el contenido de gluten en masas destinadas a la elaboración de pastas, sin alterar las características del producto final, tal como se hizo en este estudio, el cual tiene como objetivo principal disminuir la cantidad de gluten, mediante la sustitución de sémola de trigo con harina de chayotextle a distintas concentraciones, para así obtener una mezcla óptima para la elaboración de pastas de bajo contenido en gluten. Para dicho estudio se agregó harina de chayotextle al 10, 20 y 30% (M1, M2 y M3), en masas de sémola de trigo, que posteriormente fueron analizadas mediante pruebas reológicas en un texturómetro Brookfield. Los resultados mostraron que tanto la dureza como la adhesividad de masas incrementaron al aumentar la concentración de esta harina, mientras que la cohesividad y elasticidad solo incrementó al adicionar el 10% de harina de chayotextle, pero al agregar el 20 y 30% ambos parámetros se mantuvieron estables.

En las pastas no se encontraron diferencias significativas con respecto al testigo en cuanto a la extensibilidad, es preciso mencionar que los resultados de color indicaron que la mezcla óptima para la elaboración de pastas se obtuvo al sustituir un 10% con harina de chayotextle, ya que, a esta concentración las propiedades tanto de textura como sensoriales fueron similares a la muestra testigo. También se realizó un análisis químico proximal de pasta elaborada con sémola de trigo (testigo), así como del tratamiento M1, para el cual se obtuvo un contenido de proteína del 16.28%, dicho porcentaje es similar a lo obtenido en el testigo (15.98%). Los resultados demostraron que, al aumentar el porcentaje de sustitución de sémola de trigo con harina de chayotextle disminuye el contenido de gluten, lo cual puede repercutir de manera negativa en las características reológicas de las masas investigadas, evitando la formación de redes de gluten e indicando que el ingrediente más importante para formar la estructura de la masa es el almidón.

ABSTRACT

There are several reports relating to the gluten content change in doughs for the production of pasta, without altering the characteristics of the final product, as was done in this study, which has as main objective is to reduce the amount of gluten, by substitution wheat semolina with flour from chayotextle to different concentrations to obtain the optimum mix for pasta manufacturing low gluten content. For this study chayotextle flour was added 10, 20 and 30% (M1, M2 and M3) in doughs of semolina, which were subsequently analyzed by rheological tests on a Brookfield Texturometer. The results showed that both the hardness and adhesiveness of doughs increased with increasing concentration of the flour, while the increased cohesiveness and springiness by adding only 10% of flour chayotextle, but adding 20 to 30% both parameters were stable.

In pasta, no significant differences were found with respect to the control in terms of extensibility, it is necessary to mention that the color results indicated that the optimum mixture for the production of pasta obtained by replacing 10% flour chayotextle as at this concentration both texture and sensory properties were similar to the control sample. A proximal chemical analysis of pasta made with semolina (control) was also performed, as well as treatment M1, for which a protein content of 16.28% was obtained, this percentage is similar to that obtained in the control (15.98%). The results showed that increasing the percentage of replacement of semolina flour chayotextle gluten content is reduced, which can have negative effects on the rheological characteristics of the doughs investigated, avoiding the gluten network formation and indicating the most important ingredient to form the structure of the dough is starch.



Capítulo 1

Introducción

I. INTRODUCCIÓN

El gluten juega un papel muy importante para la formación de la masa y es la responsable de las características elásticas de la misma, esta proteína comprende las fracciones de prolaminas (gliadinas y gluteninas). Sin embargo, algunos individuos exhiben sensibilidad a ambas fracciones solubles e insolubles de las proteínas del gluten. Este padecimiento es mejor conocido como enteropatía por gluten o enfermedad celíaca (EC). La cual es causada por una respuesta inmune inapropiada a la dieta de gluten de trigo o proteínas similares de hordeína (cebada) o secalina en centeno (Susanna y Prabhasankar, 2013). Por lo que las personas con EC no pueden consumir algunos de los productos más comunes, como panes, productos horneados y otros alimentos hechos con harina de trigo (Larrosa *et al.*, 2013).

En la actualidad, el tratamiento fundamental para la EC es evitar la ingestión de gluten, por lo que deben seguir una dieta completamente libre de gluten (LG). Desafortunadamente, estas proteínas son fundamentales para la producción de una gran variedad de alimentos, incluyendo las pastas, específicamente aquellas elaboradas a partir de trigo duro (Mariotti *et al.*, 2011). Es por ello que el aumento de la demanda de productos libres de gluten ha llevado a importantes investigaciones tecnológicas en la sustitución de la matriz de gluten para la producción de alimentos sin gluten de alta calidad (Larrosa *et al.*, 2013), y de acuerdo a la Fundación Celíaca, la pasta es uno de los productos más demandados por las personas con dicha enfermedad (Puppini *et al.*, 2012).

De ahí la finalidad de producir pasta con bajo contenido de gluten con apariencia y textura similar a la pasta convencional obtenido a partir de harina de trigo (Larrosa *et al.*, 2013). Hoy en día, existen varios ingredientes para la elaboración de dicho producto, de los cuales los más utilizados son, harinas de arroz y maíz, harinas de pseudocereales tales como la quinoa, amaranto, y almidones de diferente origen, como el de papa u otros tubérculos. También se pueden preparar a partir de

almidones pre-gelatinizados o harinas como materias primas, con la adición de proteínas, gomas y emulsificantes, los cuales pueden actuar parcialmente como sustitutos de gluten (Mariotti *et al.*, 2011).

La gran diversidad de materias primas LG ayudan a aumentar la cantidad y la calidad nutricional de los productos para celíacos (Mariotti *et al.*, 2011). No obstante es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas, por lo que en la presente investigación se realizará la determinación de propiedades térmicas de harinas, así como las características físico-químicas de pastas con bajo contenido de gluten, elaboradas con harina de chayotextle.



Capítulo 2

Marco Teórico

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Características generales de raíces y tubérculos

Cultivos de raíces y tubérculos se siembran en todo el mundo en regiones cálidas y húmedas. Son plantas que producen raíces amiláceas, rizomas, cormos, tallos y tubérculos, contienen de 70-80% de agua, entre 16 y 24% de almidón y cantidades traza (<4%) de proteínas y lípidos (Jayakody *et al.*, 2005). Por lo general, tienen escaso valor comercial para el consumo directo (Mangalika *et al.*, 2009). Aunque existe una amplia gama de tubérculos que se cultivan alrededor del mundo, sólo cinco especies representan casi el 99% de la producción mundial, entre los que están: papa (*Solanum tuberosum*, 46%), yuca (*Manihot esculenta*, 28%), camote (*Ipomoea batatas*, 18%), ñame (*Dioscorea* spp., 6%) y el taro (*Colocassia*, *Cytosperma*, *Xanthosoma* spp), los cuales se consumen cocidos o como un plato de verduras (Jayakody *et al.*, 2007)

También algunos tubérculos tropicales como el sagú (*Canna edulis*), zulu (*Maranta sp.*), Guapo (*Myrosma cannifolia*) y chayote (*S. edule*), que contienen almidón como componente principal, se han utilizado para consumo en fresco, sin embargo, almidones puros de estos, son difíciles de extraer es por ello que sus propiedades todavía se desconocen. Por lo tanto, es valioso determinar las características fisicoquímicas de estos almidones y estudiar sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007). A pesar de que la información disponible sobre dichos cultivos aun es escasa, se ha demostrado que el almidón de tubérculos sería una buena fuente para las diferentes industrias de alimentos (Mangalika *et al.*, 2009).

2.2 Principales fuentes de almidón

Las principales fuentes de almidón son el maíz (79%), papa (9%) y tapioca (7%). Estos almidones se utilizan extensamente en aplicaciones de fabricación de alimentos, debido a sus características estructurales y físico-químicas (Jiménez-

Hernández *et al.*, 2007). La identificación de fuentes nativas de almidón es necesaria, porque tanto las propiedades físico-químicas, como las características funcionales que son impartidas por los almidones a los sistemas acuosos y su singularidad en diversas aplicaciones alimentarias varían con el origen botánico (Singh *et al.*, 2003)^b.

El uso del almidón de papa se prefiere sobre otros almidones, como en muchos alimentos, así como en la fabricación de papel, porque puede dar una alta consistencia para pegar y tener ventaja como formador de película. El comportamiento de hidratación del almidón de papa difiere de almidones de cereales, y sugiere su aplicación en muchos alimentos formulados que requieren una alta estabilidad y larga vida de almacenamiento (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

La producción de tubérculo de yuca en algunos países en desarrollo ha ido en aumento. Este es un gran desafío para los científicos para explotar las propiedades de almidones de raíces y tubérculos mediante tratamientos de calor-humedad o recocado con la finalidad de producir almidones modificados que son de utilidad en la industria, para la transformación de la economía, y mejorar la vida. La gran utilización de almidón de yuca alenta a los agricultores a la producción de este cultivo por motivos económicos más que de subsistencia, y a su vez mejorar esos países para competir de manera más favorable en los sectores alimentarios y no alimentarios del mercado (Faramade *et al.*, 2011).

2.3 Chayote (*Sechium edule*)

El Chayote (*Sechium edule*), pertenece a familia *Curcubitaceae*, planta nativa de México y América Central (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007), es un miembro menos conocido de la familia de la calabaza, el cual está ganando popularidad e importancia como cultivo alimenticio en todo el mundo, es adaptable a una amplia gama de condiciones climáticas, se puede cultivar con relativa facilidad. Además

de sus frutos, produce brotes tiernos para su uso como vegetal, verduras, forraje para los animales y raíces subterráneas de almacenamiento comestibles (Aung, 1989).

Es una planta perenne de crecimiento anual y se cultiva de manera tradicional en los solares, traspatios y huertos, la forma más usual y eficaz de propagación es por medio de la semilla. La siembra puede realizarse en cualquier época del año, pero es común que se haga al inicio de la época lluviosa; la duración del ciclo productivo de las plantas es de un promedio de tres años hasta ocho, se caracteriza por poseer una semilla de gran tamaño y es un alimento que contiene carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcar soluble y agua (Ramírez, 2012). La importancia del tubérculo de chayote reside en su alto contenido de almidón (136 g/kg peso fresco del tubérculo), que es similar a lo reportado para el tubérculo de papa, que es de 140 g/kg tubérculo en peso fresco (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

Actualmente el chayote está distribuido prácticamente en los cinco continentes, pero para el año 2012, en México se reportó una producción de 162 mil 855 toneladas (SIAP, 2014). Cabe destacar que en estudios previos se calculó que para la producción media de tubérculo de chayote en México fue de 1084.5 ton/año, teniendo en cuenta el número de hectáreas (Ha) cultivadas (2065.5 Ha), con un número de 125 plantas por hectárea y el número de 2 tubérculos producidos por planta, así como el promedio de peso de 2,1 kg por tubérculo. Estos datos muestran que tal tubérculo puede ser un potencial de materia prima (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007), siendo los Estados de San Luis Potosí, Yucatán, Puebla, Colima, Chiapas, Michoacán, Estado de México, Nayarit, Jalisco y Veracruz los que tienen una producción importante para el mercado (SINAREFI, 2014).

2.3.1 Composición química de la raíz tuberizada del chayote (chayotextle)

Es importante mencionar que la raíz tuberizada es sólo el engrosamiento de una parte de la raíz, ubicada en su extremo terminal, debido a que no todas las raíces presentan una formación de chayotextle. Estas raíces lignificadas (Figura 1) cumplen con la función de fijar la planta, absorber agua y elementos nutritivos para el crecimiento (Ramírez, 2012). Cabe destacar que el chayote es muy consumido por su alto valor nutritivo. Sin embargo, las otras partes de la planta como el tallo y la raíz, también se consumen y aportan nutrientes importantes, tal como se muestra en el Cuadro 1.

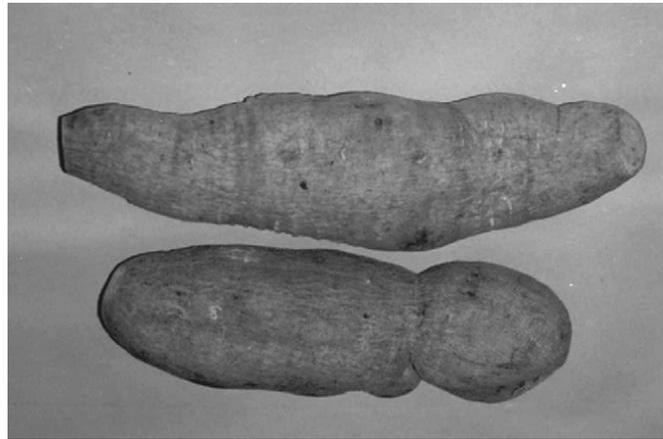


Figura 1. Tubérculo de chayote (*Sechium edule*) cultivado en México

En algunos componentes como carbohidratos, proteínas, ácido ascórbico, niacina, fósforo y en especial el almidón, la raíz tuberizada del chayote supera al mismo fruto (Ramírez, 2012).

Cuadro 1. Composición química del fruto, tallos jóvenes y raíces de *Sechium edule Sw.*

Componente	Fruto	Semilla	Vástago	Raíz
Calorías (%)	26-31	-	60	79
Humedad (%)	89-93.4	-	89.7	79.7
Azúcares solubles (%)	3.3	4.2	0.3	0.6
Almidón (%)	0.2	1.9	0.7	13.6
Proteínas (%)	0.9-1.1	5.5	4	2
Grasas (%)	0.1-0.3	-	0.4	0.2
Carbohidratos (%)	3.5-7.7	60	4.7	17.8
Fibras (%)	0.4-1.0	-	1.2	0.4
Cenizas (%)	0.4-0.6	-	1.2	1
Ca (mg)	12-19	-	58	7
P (mg)	4-30	-	108	34
Fe (mg)	0.2-0.6	-	2.5	0.8
Vitamina (mg) A	5	-	615	-
Tiamina (mg)	0.03	-	0.08	0.05
Riboflavina (mg)	0.04	-	0.18	0.03
Niacina (mg)	0.4-0.5	-	1.1	0.9
Acido ascórbico (mg)	11-20	-	16	19

Fuente: (Ramirez, 2012).

El contenido de almidón en chayote es similar comparado con tubérculos de papa que van de (72,80% y 70,01%, respectivamente), lo cual indica que el tubérculo de chayote podría ser considerado como una novedosa y alta fuente de almidón, compitiendo contra la papa, tal como se muestra en el Cuadro 2 (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

Cuadro 2. Composición química del tubérculo de chayote y papa (g /100g de muestra).

Componente	Tubérculo de chayote	Papa
	%	%
Carbohidratos	85.50	85.1
Almidón	72.80	70.01
Fibra	0.17	0.21
Proteínas	10.35	10.07
Lípidos	0.33	0.39
Cenizas	3.65	4.04

Fuente: (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

Estudios realizados, demuestran que entre estos dos tubérculos, existe una similitud en la relación amilosa-amilopectina, y sólo se observan diferencias en cuanto a forma y tamaño del gránulo (Ramírez, 2012). Cabe mencionar que tanto las propiedades fisicoquímicas como la forma y el tamaño de gránulo, los patrones de difracción de rayos X (DRX), contenido de amilosa, o el contenido de los componentes sin almidón, muestran variación considerable entre los almidones de dichos tubérculos (Subramony, 2002).

2.4 Características generales de los cereales

Los cereales, cuyo nombre deriva de Ceres, diosa griega de la alimentación, constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el aporte energético con los numerosos nutrientes para el organismo, es por ello que los cereales han sido, y seguirán siendo el principal sustento del hombre (Serna, 2013).

Los cereales son los frutos de pastos cultivados, y las plantas de las que provienen son el trigo, arroz, maíz, avena, centeno y cebada (Charley, 2009).

Pertencen a la familia de las gramíneas, son plantas monocotiledoneas cuyo cotiledón (*escutelum* o escudo) es localizado en el germen del grano. El fruto de los cereales es denominado botánicamente cariósido y consta de tres partes anatómicas fundamentales: pericarpio, endospermo y germen, siendo el pericarpio la envoltura real del grano, el cual contiene la mayor parte de la fracción fibrosa. El endospermo es lo más abundante y voluminoso del grano, pudiendo llegar hasta 75% del peso total y está constituido por gránulos de almidón embebidos en una matriz proteica, estos gránulos pueden ser simples o compuestos (Serna, 2013).

2.4.1 Usos generales de los cereales

Los cereales desde su cosecha hasta llegar a la boca del consumidor generalmente son sujetos a múltiples operaciones o segmentos industriales, entre los cuales destacan la industria almacenadora, molinos e industrias procesadoras de fracciones de molienda en productos procesados. El uso general de los cereales puede dividirse en tres grandes categorías:

- a. Uso del grano entero o decortinado
- b. Uso de los productos de molienda seca (grits, harinas) y húmeda (almidón)
- c. Industrialización del grano entero o fracciones de molienda por medio de procesos de panificación, fermentación (bebidas alcohólicas y productos fermentados), almidón (producción de almidones modificados, edulcorantes ó jarabes, etc.) y manufactura de botanas y cereales para desayuno (Serna, 2013).

2.4.2 Valor nutritivo de los cereales

Los productos del reino vegetal, principalmente los cereales, proveen la mayoría de los nutrientes en el mundo, ya que se estima que los cereales aportan más del 50 % del total de energía consumida por la población humana, es por ello que los países desarrollados o en vías de desarrollo dependen todavía más de los

nutrientes proporcionados por los cereales porque constituyen una excelente fuente de energía o de calorías (85-90% aproximadamente), las cuales son requeridas para el crecimiento y el trabajo, también se caracterizan por poseer una buena cantidad y calidad de fibra necesaria para el buen funcionamiento gastrointestinal, desafortunadamente se considera que los cereales tienen baja calidad proteica, ya que el contenido de lisina (aminoácido esencial), requerido para un adecuado crecimiento en niños o lactantes es limitado. Cabe mencionar que otro factor que afecta el aporte nutricional de los cereales es el procesado de los mismos, ya que durante la molienda, fermentación, germinación, cocimiento ácido y alcalino, se altera la composición y la disponibilidad de nutrientes (Serna, 2013).

2.4.3 Composición química proximal de los cereales

El principal constituyente de los cereales es el almidón (Serna, 2013), también está formado por compuestos nitrogenados (proteínas), lípidos (grasas), sustancias minerales y agua, junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y otras sustancias (Kent, 1987). La cantidad y calidad de los nutrientes difiere en los distintos géneros y especies de los mismos, lo que afecta las propiedades nutritivas, culinarias y funcionales (Serna, 2013). Los hidratos de carbono (extracto libre de nitrógeno y fibra cruda) son cuantitativamente, los componentes más importantes, y constituyen aproximadamente el 80% del grano, entre los cuales están el almidón, celulosa, hemicelulosa, dextrinas y azúcares. El almidón se almacena en gránulos dentro de las células del endospermo. Las moléculas de almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos α 1-4 y 1-6, la cual está conformada por amilosa y amilopectina. Mientras que las glumas, el pericarpio y las paredes celulares del endospermo son ricos en fibra (Serna, 2013).

Las proteínas son el segundo constituyente más abundante, las cuales contienen aproximadamente unos 18 aminoácidos diferentes, y las proporciones en las que

se encuentran así como el orden en las cadenas, determinan las propiedades de cada proteína (Kent, 1987).

De acuerdo a su solubilidad las proteínas se clasifican en hidrosolubles (albuminas) y en soluciones iónicas débiles (globulinas) que se encuentran principalmente en el germen y están conformadas por enzimas, nucleoproteínas y glucoproteínas. Aproximadamente el 80% de las proteínas del grano son de almacenamiento y reserva, siendo la fracción proteica más abundante en la mayoría de los cereales la que contiene a las prolaminas, las cuales están encerradas en los llamados cuerpos proteicos localizados en el endospermo, son insolubles en agua pero solubles en alcohol. Desde el punto de vista nutricional son las proteínas más pobres, puesto que carecen de aminoácidos esenciales y son ricas en aminoácidos no esenciales como prolina, glicina, ácido glutámico y aspártico (Serna, 2013).

Las glutelinas son las principales proteínas estructurales del endospermo, básicamente se encuentra situadas dentro de la matriz proteica y asociadas con las prolaminas. Es la fracción proteica más difícil de extraer por su alto peso molecular y por alto entrecruzamiento o número de enlaces disulfuro, pero la calidad nutricional de las glutelinas es superior que la de las prolaminas mejor conocidas como gliadinas (Serna, 2013).

Los lípidos que se encuentran en los cereales son muy complejos, principalmente porque están compuestos por un número grande de clases y especies químicas. La distribución de las clases como de especies es diferente, no solo en los distintos cereales, sino también en las diferentes partes anatómicas de cada cereal (Hoseney, 1991). El contenido lipídico es de 1-3%, los cuales se subdividen en polares y no polares, se localizan principalmente en el germen y está formado por aceite y otros compuestos liposolubles (Kent, 1987).

Los cereales son una fuente de vitaminas del complejo B, particularmente tiamina, riboflavina, niacina y piridoxina, pero pobres en vitaminas liposolubles y vitamina B12, las cuales se concentran en la aleurona, o escutelo o en ambas. Mientras que las cenizas están concentradas en la capa de la aleurona, cabe destacar que el trigo presenta un contenido de cenizas de 1.5%, sin embargo, esta no se distribuye uniformemente en el grano (Serna, 2013; Hosenev, 1991).

2.5 Trigo (*Triticum durum*)

El trigo al igual que todos los cereales, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. El origen de esta planta no es conocido con certeza, aunque algunas evidencias indican que el cultivo se originó de un tipo de pasto salvaje en las tierras áridas de Asia menor (Cruz, 2008).

Aun no se ha logrado consensuar el lugar y tiempo exactos del origen del primer cultivo de trigo, pero está bien establecido que en la región del mediterráneo, siglos atrás, varias especies de trigo tenían un rol importante en la alimentación de la población (Cruz, 2008). Los granos de trigo son de forma ovalada, con extremos redondeados, el germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos (Figura 2). A lo largo de la cara ventral hay una depresión (el surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas (Kent, 1987). Después de un periodo lento de progreso, el trigo se convirtió como el mejor de los cereales para la alimentación, además la calidad del trigo para la producción de pan también mejoró (Cruz, 2008).

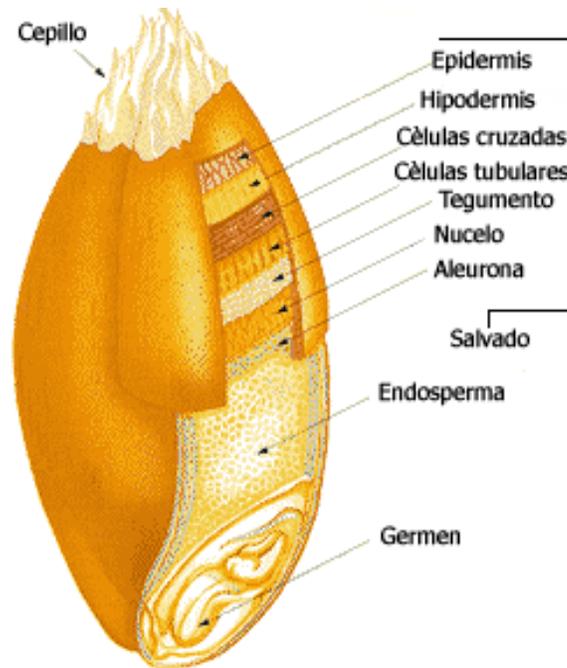


Figura 2. Estructura anatómica del grano de trigo (CANIMOLT).

2.5.1 Clasificación del trigo

De modo general los trigos se clasifican según:

1. La textura del endospermo: porque esta característica del grano está relacionada con la forma de fraccionarse en la molturación del mismo.
2. La riqueza proteica: porque las propiedades de la harina, así como su utilidad para diferentes objetivos, está relacionada con esta característica (Kent, 1987).

De acuerdo con su uso, el trigo también es clasificado en suave, duro y cristalino como se observa en el Cuadro 3. Los dos primeros son generalmente transformados en harinas para la manufactura de pan fermentado y leudado con agentes químicos, productos de pastelería, galletas, botanas y cereales para desayuno (Serna, 2013). Es considerado como uno de los cereales que tiene más sistemas de clasificación, debido a su alta versatilidad y sus distintos usos.

Cuadro 3. Clasificación del trigo de acuerdo a su uso.

Harina		Semolina
Trigo duro	Trigo suave	Trigo cristalino
Pan fermentado	Galletas	Pastas
Francés	Dulces	Spaghetti
Hamburguesa	Saladas	Vermicelli
Hot dogs		Linguini
	Pasteles	Fideo
		Lasagne
Pan dulce fermentado	Cereales de desayuno	Sopas de pasta
Donas		Coditos
Repostería	Hot cakes	Tubitos
Roles de canela	Agente engrosante	Anillos
Pan danés	Pretzels	Estrellas
	Barquillos para hehlados	Ruedas
Tortillas de harina	Waffles	Conchitas

Fuente: (Serna, 2013).

Este cereal puede ser clasificado de varias maneras, pero la distinción más fundamental es la que está basada en la botánica de la planta de trigo. Percival en 1921 describió 18 especies de trigo, aunque solo algunas de ellas son cultivadas comercialmente, mientras que las variedades del género *Triticum* fueron agrupadas por Hackel en 1980 como sigue:

- *Vulgare, trigo común*
- *Durum, trigo duro*
- *Compactum, trigo club*
- *Turgidum, trigo poulard*
- *Dicoccum, emmer*

- *Spelta, spelt*
- *Polonicum, trigo polaco*
- *Monococcum, einkorn*

Para propósitos comerciales, los trigos comunes son clasificados por otras características como, duro o suave, rojo o blanco, y de primavera o invierno. Algunos países han establecido estándares para el grano de trigo, basados en algunos factores como, dureza, color, presencia de material extraño, granos quebrados, humedad y peso (Cruz, 2008).

2.5.2 Contenido proteico

La riqueza proteica del trigo varía ampliamente (6-21 %) y depende menos de los factores genéticos, que de los edáficos (condiciones del suelo y clima), que prevalezcan en el lugar de cultivo y de los tratamientos con fertilizantes. El contenido proteico no es un factor que determine la calidad para la obtención de harina, pero la cantidad de proteína del endospermo, su calidad y estructura química, es, la característica más importante para determinar la calidad para la panificación (Kent, 1987).

2.5.3 Proteínas del trigo

Entre las harinas de los cereales solo la de trigo tiene la habilidad de formar masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso, esto se atribuye fundamentalmente a las proteínas del trigo, y más concretamente a las del gluten. Las proteínas del gluten son proteínas de reserva del trigo, las cuales se aíslan con cierta facilidad en estado relativamente puro por ser insolubles en agua, mientras que el almidón y las sustancias hidrosolubles se pueden eliminar del gluten trabajando suavemente la masa bajo una pequeña corriente de agua, ya que tras el lavado queda una pelota gomosa de gluten (Hoseney, 1991).

El gluten fue aislado por primera vez en Italia por Beccari en 1728. Esta fue la primera proteína aislada de una materia vegetal, puesto que se creía que las proteínas procedían únicamente del reino animal. De acuerdo al aislado de harina se obtuvo que el gluten contiene (base sustancia seca) un 80% de proteína y 8% de lípidos, con un resto de cenizas y de hidratos de carbono. El complejo gluten, está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadina y glutenina (Hoseney, 1991).

Las gliadinas son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares, su peso molecular medio es de unos 40.000 Da, son de cadena simple y extremadamente pegajosas cuando están hidratadas (Hoseney, 1991), representan alrededor de 30% de proteínas totales (del grano de trigo), y se pueden clasificar en α , β , γ , ω , y ν - gliadinas (Susanna y Prabhasankar, 2013). Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la masa. Mientras que las gluteninas son proteínas poliméricas, de cadena ramificada y de alto peso molecular (Hoseney, 1991), en la cual, las subunidades de alto peso molecular (HMG) y subunidades de bajo peso molecular (LMG) están unidos entre sí por enlaces disulfuro (Susanna y Prabhasankar, 2013). Su peso molecular oscila entre 100.000 y varios millones de Da, con un promedio de tres millones. Físicamente, la proteína es elástica, pero no coherente, esta proteína confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1991).

2.6 Generalidades del almidón

El almidón es la principal fuente de calorías en una variedad de dietas de personas en todo el mundo (Mangalika *et al.*, 2009). Es un polisacárido que forma parte de la mayoría de los productos agrícolas que se consumen, como son los cereales, leguminosas, tubérculos y frutas en estado verde o inmaduro, es el polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa y es el material de reserva en plantas, así como fuente principal de energía para el

hombre (Ramírez, 2012). Se deposita como gránulos insolubles, semi-cristalinos en los tejidos de almacenamiento (granos, tubérculos, raíces), también ocurre en menor medida en la mayoría de tejidos vegetativos de las plantas (Copeland *et al.*, 2009). El almidón también es un macro-componente de muchos alimentos y sus propiedades e interacciones con otros compuestos, en particular el agua y los lípidos, son de interés para la industria alimentaria y de la nutrición humana (Copeland *et al.*, 2009), debido a que contribuye en gran medida a las propiedades de textura de muchos alimentos y en aplicaciones industriales como espesante, estabilizador coloidal, agente gelificante, agente de carga y agente de retención de agua (Singh *et al.*, 2007). Dicho polisacárido varía en gran medida en la forma y funcionalidad entre y dentro de las especies botánicas, lo cual proporciona almidones de diversas propiedades (Singh *et al.*, 2003)^a.

2.6.1 Estructura del gránulo de almidón

Los gránulos de almidón varían en tamaño (de 1 a 100 nm de diámetro) y forma (poligonal, esférica, lenticular), y puede variar mucho con respecto al contenido, estructura y organización de las moléculas de amilosa y amilopectina, la arquitectura de ramificación de la amilopectina, y el grado de cristalinidad (Copeland *et al.*, 2009). De acuerdo con su origen, los almidones se diferencian por su contenido de amilosa y amilopectina, dos polímeros macromoleculares de α -D-glucopiranosil. La amilosa es un glucano lineal con enlaces glicosídicos α -1, 4, compuestas de cadenas largas que tienen principalmente una conformación helicoidal, mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de peso molecular más alto que la amilosa. Esta diferencia en la conformación de las moléculas es la responsable de las diferentes propiedades (García *et al.*, 2009).

La amilosa tiene un intervalo de peso molecular de aproximadamente 10^5 - 10^6 Da, correspondiente a un grado de polimerización (DP) de 1000-10,000 unidades de glucosa y menos del 0,5% de glucosas en la amilosa con enlaces α (1-6), lo que da como resultado un bajo grado de ramificación (Figura 3). Debido al bajo

grado de ramificación, la amilosa disuelta tiene una tendencia a formar agregados insolubles semi-cristalinos, dependiendo de la colocación de las ramas en la estructura (Copeland *et al.*, 2009).

La amilopectina es un polímero mucho más grande, con peso molecular de aproximadamente 10^8 Da y un DP que puede exceder a un millón. La mayoría de los almidones contienen entre 60 y 90% de amilopectina, a pesar del alto contenido de amilosa. La amilopectina tiene aproximadamente el 5% de sus glucosas en enlaces α (1-6), dándole una estructura de árbol muy ramificada (Figura 3), y una arquitectura molecular compleja que puede variar sustancialmente entre los diferentes almidones con respecto a la colocación y la longitud de las ramas (Copeland *et al.*, 2009).

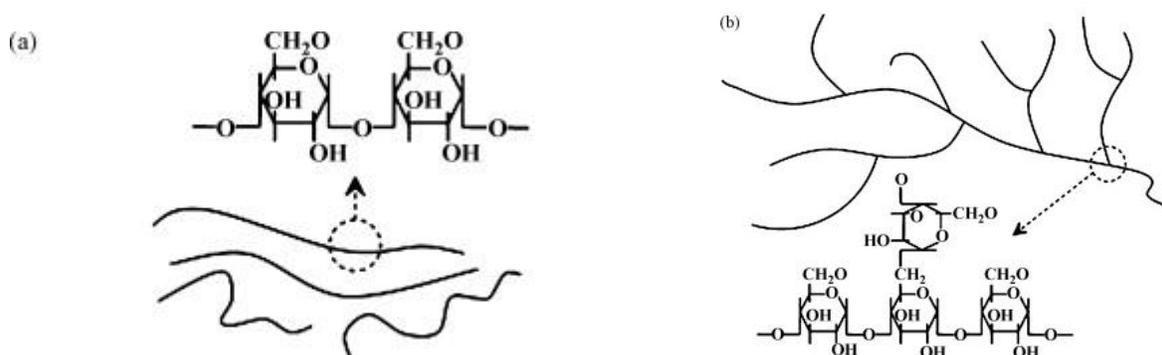


Figura 3. Estructura química y representación esquemática del almidón (a) amilosa y (b) amilopectina. (Hongsheng *et al.*, 2009).

2.6.2 Propiedades térmicas del almidón.

Maíz, arroz, trigo y papa son las principales fuentes de almidones que difieren significativamente en su composición, morfología, propiedades térmicas, reológicas y de retrogradación, los almidones de cereales contienen una cantidad significativa de fosfolípidos, mientras que el almidón de papa es rica en fósforo esterificado (Singh *et al.*, 2003)^b.

Cabe mencionar que la mayoría del almidón consumido por los seres humanos ha sido objeto de alguna forma de procesamiento, que implica generalmente el calentamiento en presencia de humedad bajo cizallamiento (deformación que se produce por una fuerza externa, también llamado corte o cortadura), y después enfriamiento. Durante el tratamiento térmico, los gránulos de almidón gelatinizan, perdiendo así su cristalinidad y la organización estructural, posteriormente tras un proceso de refrigeración estas moléculas colapsadas, primero forman un gel y, a continuación retrogradan gradualmente en agregados semi-cristalinos que difieren en la forma de los gránulos naturales (Copeland *et al.*, 2009).

2.6.3 Gelatinización

La gelatinización se produce cuando el almidón natural se calienta en presencia de humedad suficiente (Copeland *et al.*, 2009), y este es el resultado del colapso de la estructura del gránulo de almidón en su ordenación molecular y cambios irreversibles en sus propiedades, incluyendo la pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hinchamiento de los gránulos y la lixiviación de algunos componentes, principalmente de amilosa (Zavareze y Guerra, 2011). Esta desorganización tal como se muestra en la Figura 4, es debida al desenrollamiento de las dobles hélices, el gránulo se torna traslúcido y soluble, pierde su poder birrefringente (alto grado de estructuración), y no puede obtener nuevamente su forma original (Ramirez, 2012).

A cierta temperatura de gelatinización, la amilosa presente en el gránulo comienza a disolverse porque la energía calorífica rompe los enlaces de puentes de hidrógeno que mantenían las moléculas de amilosa unidas y permite el paso de agua a través de la red molecular, provocando que los gránulos se hinchen a su máxima capacidad y como consecuencia el rompimiento de estos (Ramirez, 2012), el gránulo también pierde su patrón de difracción de rayos X, así como, la propiedad de birrefringencia, el gránulo hinchado incapaz de retener el líquido, se rompe parcialmente y tanto la amilosa como la amilopectina fuertemente

hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución (Badui, 2013). Sin embargo la amilopectina gelatinizada inicialmente permanece en un estado amorfo, a pesar de que todavía existe una pequeña cantidad de amilopectina no gelatinizada (Hongsheng *et al.*, 2009).

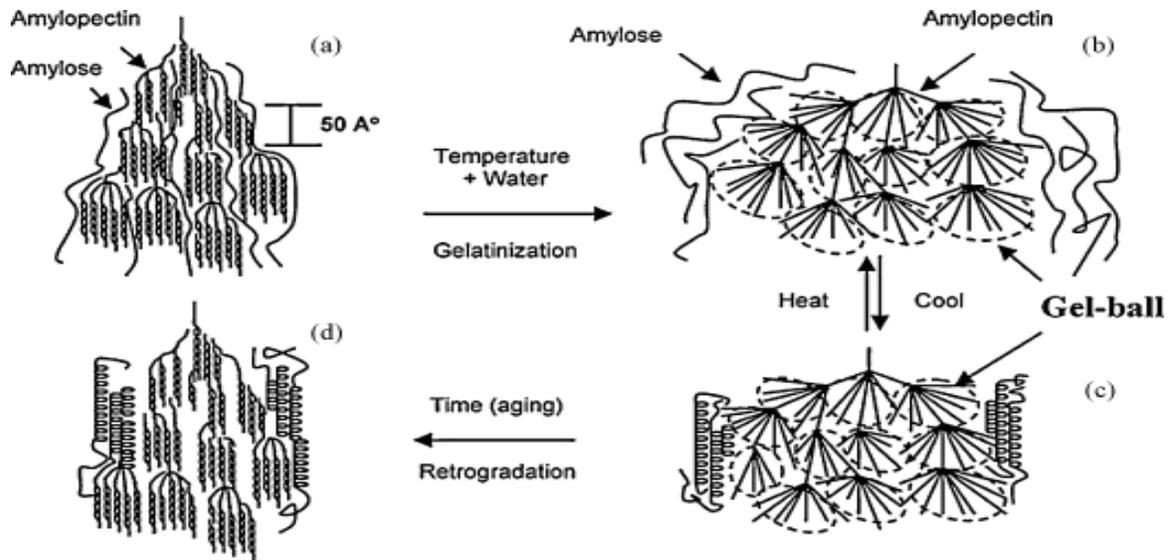


Figura 4. Representación esquemática de las transiciones de fase del almidón durante el proceso térmico y envejecimiento (Hongsheng *et al.*, 2009).

La velocidad, el grado de hinchamiento y ruptura dependen del tipo y cantidad de almidón, el gradiente de temperatura, fuerza de cizalla y la composición de la mezcla (Copeland *et al.*, 2009). Las altas temperaturas de gelatinización pueden ser un indicio de mayor estabilidad entre los cristalitas de almidón en las moléculas, lo cual significa que se requiere más calentamiento para hinchar los gránulos (Subramony, 2002), el intervalo de gelatinización es también muy distinto entre los diferentes almidones (Copeland *et al.*, 2009).

2.6.4 Gelificación

La gelificación debe ser posterior al proceso de gelatinización; durante esta etapa se lleva a cabo la formación de un gel, el cual se obtiene hasta que se enfría una pasta de almidón, debido a que las moléculas de amilosa que se disolvieron comienzan a re-asociarse nuevamente mediante enlaces intermoleculares como puentes de hidrógeno, formando una red donde el agua queda atrapada y solidifica el producto. Los geles formados se hacen progresivamente más fuertes durante las primeras horas de preparación y la birrefringencia se pierde, aumenta la claridad, se restringe el movimiento e incrementa la viscosidad, pero a medida que pasa el tiempo, el gel tiende a “envejecerse” debido a la retrogradación del almidón, perdiendo su fortaleza y permitiendo la salida del agua (Ramírez, 2012).

2.6.5 Retrogradación

La retrogradación se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización, se manifiesta por la formación de precipitados o geles y endurecimiento (Ramírez, 2012). Es un fenómeno por el cual se solubilizan moléculas de amilosa y las fracciones lineales de amilopectina forman re-asociaciones mediante enlaces de hidrógeno. Este proceso se ha utilizado para describir los cambios que ocurren en el almidón después de la gelatinización, desde un estado inicialmente amorfo a un estado más ordenado o cristalino. El proceso está acompañado por la pérdida de agua del gel denominado sinéresis (Zavareze y Guerra, 2011). Las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que para romperse y permitir la gelatinización del almidón, requieren alta energía (Badui, 2013).

Los cambios que ocurren en los gránulos de almidón durante la gelatinización y retrogradación son los principales determinantes de los comportamientos de pastas de almidón, que se han cuantificado principalmente a través de la medición de cambios en la viscosidad durante el calentamiento y enfriamiento de dispersiones de almidón (Zavareze y Guerra, 2011).

2.6.6 Digestibilidad del almidón

Una propiedad funcional del almidón que es de particular interés para la nutrición es la susceptibilidad a la digestión. Ya que el almidón que no se degrada rápidamente por las enzimas digestivas humanas en el intestino superior, se ha asociado con beneficios para la salud debido a una liberación más lenta de la glucosa en el torrente sanguíneo resultante en la glucemia postprandial reducida y respuestas de la insulina (Copeland *et al.*, 2009).

La digestión del almidón es un proceso complejo que se lleva a cabo en diferentes fases: la difusión de la enzima hacia el sustrato, la presencia de poros o canales, la absorción de la enzima al material amiláceo y el evento hidrolítico (Ramírez, 2012). La resistencia a la digestión de almidón puede ser debido a sus propiedades intrínsecas, la medida en que la comida se mastica, el resultado de los cambios durante el procesamiento, la retrogradación, modificación química o debido a interacciones con otros constituyentes de los alimentos, especialmente con los lípidos. El almidón no digerido o parcialmente digerido, se le conoce como "almidón resistente" (AR), este nombre se utiliza para describir el almidón de los alimentos que no son completamente digeridos. Este tipo de almidón pasa desde la parte del intestino superior hasta el intestino inferior donde se considera que es un prebiótico, o un buen sustrato para la microflora intestinal beneficiosa, asociada con la salud del colon (Copeland *et al.*, 2009). La digestibilidad del almidón también depende de factores como; la fuente botánica, la presencia de proteínas, lípidos y otros carbohidratos, los tipos de tratamientos térmicos durante el procesamiento, las condiciones y tiempo de almacenamiento, y la proporción de amilosa/amilopectina (Ramírez, 2012).

2.7 Enfermedad celiaca (enteropatía del gluten).

La enfermedad celíaca (EC) es una intolerancia permanente a las proteínas del gluten, la cual es causada por una respuesta inmune inapropiada al incluir en la dieta gluten de trigo o proteínas similares de cebada o centeno (Susanna y

Prabhasankar, 2013). Es por ello que cuando las personas con enfermedad celíaca consumen gluten, su sistema inmune genera anticuerpos contra esta proteína, las cuales atrofian las vellosidades del intestino delgado, y como consecuencia existe una mala absorción de varios nutrientes importantes, incluyendo el hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas (Larrosa *et al.*, 2013). Hasta hace una década, esta enfermedad se consideraba un trastorno poco común en el mundo, con tasas de prevalencia de 1 en 1000 o inferior. Sin embargo, los estudios poblacionales recientes han reportado una prevalencia mucho más alta y se estima que este padecimiento puede afectar a uno de cada 100 de la población, incluyendo adultos y niños (Yazynina *et.al.*, 2008).

Estudios clínicos y epidemiológicos han mostrado que esta enfermedad es un factor de riesgo para el cáncer, la osteoporosis, enfermedad de la tiroides, infertilidad, trastornos neurológicos y psiquiátricos (Larrosa *et al.*, 2013). Por lo que la base del tratamiento para esta patología es una dieta de por vida libre de gluten (LG), específicamente proteínas de reserva, o prolaminas, que se encuentran en algunos cereales tales como gliadina en el trigo, secalina en centeno y hordeína en la cebada (Larrosa *et al.*, 2013).

Por lo tanto personas con EC no pueden consumir algunos de los productos más comunes tales como:

- Pan, cereales u otro alimento hecho con trigo, centeno, cebada, triticale, dinkel, kamut y harina de avena.
- Alimentos procesados que contenga gluten de trigo y derivados como espesantes y sustancias de relleno.
- Medicamentos que utilizan gluten como píldoras o aglutinantes de comprimidos (Susanna, Prabhasankar, 2013).

Desafortunadamente, las proteínas formadoras de gluten son fundamentales para la producción de una gran variedad de alimentos, incluyendo pastas, más

apropiadamente a partir de trigo duro, debido a que sus proteínas se caracterizan por un comportamiento viscoelástico, es por ello que la sustitución de la red de gluten para elaborar productos LG se ha convertido en un importante reto tecnológico, ya que las sustancias que imitan las propiedades viscoelásticas de esta proteína son siempre necesarios en estos productos (Larrosa *et al.*, 2013). Los primeros intentos en este ámbito han sido los de explotar las propiedades del almidón, tales como la retrogradación del mismo (Mariotti *et al.*, 2011). Y de acuerdo a lo reportado por la Fundación Celíaca, la pasta es uno de los productos más demandados por las personas con dicha enfermedad (Puppin *et al.*, 2012).

2.8 Pastas

La pasta, es una comida tradicional con orígenes en el siglo I A.C., es muy popular por su facilidad de cocinar, larga vida útil y por sus cualidades nutricionales. En particular, las pastas son consideradas como alimentos de bajo índice glucémico, aunque se fabrica de manera tradicional usando solamente harina de trigo duro, es posible no usar *trigo durum* como ingrediente en pastas alimenticias, específicamente marcado con mezclas (Brennan *et al.*, 2004). También es una fuente de hidratos de carbono (74-77%) y proteínas (11-15%), aunque es deficiente en lisina y treonina, común a la mayoría de los productos de cereales. Esto proporciona una oportunidad para el uso de materias primas no tradicionales para aumentar la calidad nutricional de pastas (Petitot *et al.*, 2010). Hay que destacar que la pasta no cocinada debe ser mecánicamente fuerte, de tal modo que conserve su tamaño y forma durante el empaquetamiento y transporte, asimismo, debe presentar un color amarillo uniforme y traslucido debido a que la aceptabilidad por parte del consumidor ha estado fuertemente ligada a la característica del color (Hoseney, 1991).

El almidón es el componente principal de la pasta (67% aproximadamente) que tiene una estructura jerárquica y, en consecuencia, para evaluar adecuadamente los cambios que se producen debido a la inclusión de AR en la pasta y la

influencia resultante de la digestión enzimática, por lo que una amplia gama de métodos de caracterización son esenciales. Cabe destacar que la pasta tiene un índice glucémico menor que el pan blanco, debido a la estructura compacta creada durante el proceso de extrusión lo cual conduce a una red densa de proteína que reduce la disponibilidad de los gránulos de almidón al ataque de α -amilasa (Aravind *et al.*, 2013).

2.8.1 Pastas libres de gluten

El desarrollo de pastas libres de gluten (PLG), no es un proceso sencillo, ya que es necesario crear una matriz uniforme y lo suficientemente cohesiva para soportar el proceso de cocción y conferir atributos de calidad para el producto final (Giménez *et al.*, 2013). En una matriz libre de gluten, el almidón contribuye sustancialmente a la estructura final y la calidad de PLG, a medida que se convierte en parte de una compleja matriz, debido a sus modificaciones tales como la gelatinización, retrogradación y dextrinación (modificación física, mediante la cual se rompen grandes cadenas de almidón en unidades más pequeñas), así como a las interacciones con otros componentes (almidón-proteína-lípido-polisacárido), que son promovidas por los procesos mecánicos y térmicos que intervienen durante la fabricación. Estas modificaciones permiten la formación de una red tridimensional continua de amilosa retrogradada y otras estructuras, como cristales complejos amilosa-lípido, que estabilizan la red (Giménez *et al.*, 2013). Las propiedades físico-químicas, térmicas y reológicas del almidón son responsables de la calidad, mientras que, la influencia de la funcionalidad de almidón en la calidad de pastas se observó como resultado de la etapa de fabricación, incluyendo el proceso de retrogradación (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

Mientras que las proteínas del gluten juegan un papel clave en las propiedades de pastas convencionales de sémola, el almidón es el componente determinante de pasta sin gluten sólo si puede volver a organizarse la estructura macromolecular

de manera eficaz, dando una textura similar a la encontrada en los productos de sémola (Marti y Ambrogina, 2013).

2.8.2 Clasificación de pastas

Los fideos de almidón se pueden clasificar de acuerdo a diferentes parámetros tales como: el tipo de materia prima, el tamaño de las hebras de fideos, el método de fabricación, zona de producción y forma del producto en el mercado (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

De acuerdo a su forma o anchura existen tres tipos de fideos:

- Fideos de almidón delgados
- Fideos de almidón de espesor (fideos)
- Fideos de almidón planos (tiras anchas).

Los fideos de almidón delgados son los más comunes ya que son fáciles de cocinar, aunque la textura o el tamaño de los mismos puede variar un poco de un área a otra, los estilos aún son reconocibles y la diferencia significativa viene después de la cocción (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

2.8.3 Materiales para la elaboración de pastas libres de gluten (PLG)

Los ingredientes comunes para la elaboración de PLG son harina o almidón de maíz, arroz, papa u otros tubérculos, con la adición de proteínas, gomas y emulsionantes que pueden actuar parcialmente como sustitutos de gluten (Marti y Ambrogina, 2013). Es por ello que la mayoría de los productos libres de gluten extruidos que se encuentran en el mercado incluyen maíz y arroz como ingrediente principal debido a su abundancia, bajo costo y alta capacidad de expansión, así como por ser apto para personas con enfermedad celiaca, cabe mencionar que la diversidad de materias primas libres de gluten ayuda a,

incrementar la cantidad y calidad de productos para celíacos (Giménez *et al.*, 2013).

Estos productos son obviamente diferentes de otros tipos de pastas, como la pasta de harina de trigo, porque están elaborados a partir de almidón sin gluten (Hong-Zhuo *et al.*, 2009). Por consiguiente, todavía hay una necesidad de encontrar sustancias que podrían mejorar la calidad de este tipo de productos, ya que la sustitución de la red de gluten para elaboración de estos, es un gran reto tecnológico, que tiene la finalidad de producir PLG con apariencia y textura similar al de la pasta convencional obtenida a partir de harina de trigo (Larrosa *et al.*, 2013).

2.8.4 Propiedades de harinas de almidón sin gluten

El almidón ideal para la elaboración de PLG debe tener una marcada tendencia a la retrogradación, esta propiedad por lo general se observa en los cereales y legumbres de alto contenido de amilosa, lo cual asegura un buen comportamiento de cocción en términos de textura y baja pérdida de compuestos solubles durante e incluso después de la cocción prolongada (Marti y Ambrogina, 2013). Los primeros intentos explotados en esta dirección son algunas propiedades del almidón, y en particular, la retrogradación del mismo, debido a que esta propiedad es útil para dar rigidez a la pasta cocida, y para reducir la pegajosidad de la superficie y la pérdida de materiales solubles en el agua durante la cocción. Para tener una buena cantidad de almidón retrogradado en los productos, es necesario inducir la desorganización de almidón mediante tratamientos térmicos efectuados en condiciones específicas de humedad, seguido de la fase de enfriamiento durante la cual parte del almidón, principalmente de amilosa, puede crear una red tridimensional mediante la vinculación de cadenas cortas de almidón por fuertes zonas de unión (Mariotti *et al.*, 2011).

2.9 Tecnología de procesamiento para la elaboración de pastas.

El grado de dificultad durante la fabricación de productos libres de gluten está estrechamente asociado con la función tecnológica del gluten en el sistema alimentario (Marti y Ambrogina, 2013). Las características de los fideos de almidón, a diferencia de los fideos basados en trigo, dependen en gran medida de las propiedades funcionales del almidón ya que sufre uno o dos tratamientos de calor durante el procesamiento. El tratamiento térmico puede implicar hervir o cocer al vapor, lo cual da como resultado la gelatinización del almidón, para posteriormente retrogradar, lo cual da rigidez a la estructura de los fideos (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).

2.9.1 Tecnología moderna de procesamiento.

El método de cocción por extrusión representa una tecnología alternativa que es adecuada para la fabricación de productos como PLG, ya que implica la unificación de los pasos previos a la gelatinización y la formación (Giménez *et al.*, 2013). Se ha convertido en un método de tratamiento popular para los alimentos a base de almidón y para pre-gelatinizados (Hong-Zhuo *et al.*, 2009), es una de las tecnologías más adecuadas para la fabricación de pastas LG (Figura 5), dicho proceso consiste en el uso de altas temperaturas durante tiempos relativamente cortos, y es utilizado comúnmente para la elaboración de varios productos alimenticios. Es preciso mencionar que para la manufactura de pastas LG el principal fenómeno asociado a la cocción por extrusión es usado y explotado mayoritariamente para la gelatinización del almidón (Marti y Ambrogina, 2013).

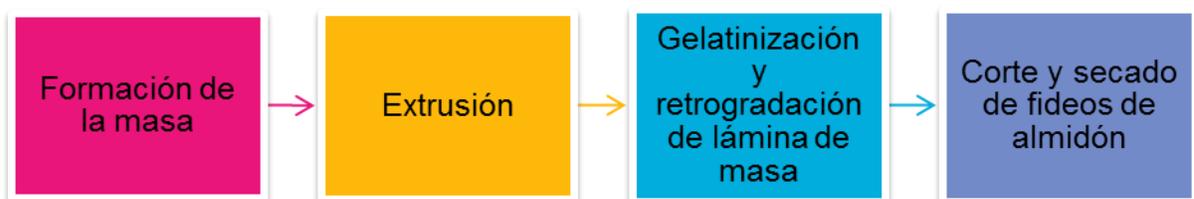


Figura 5. Esquema general para el proceso de fideos.

La extrusión prácticamente revolucionó a la industria de cereales a partir de los años sesenta, hoy en día la industria depende mucho de este proceso debido a que es eficiente y versátil. Se utiliza para manufacturar una gran gama de alimentos como cereales matinales, snacks, alimentos pre-cocidos para bebés, harinas pre-gelatinizadas, proteínas texturizadas entre otras. Es un proceso continuo, lo cual es una gran ventaja por su alta productividad, y eficiencia. Indudablemente, el proceso más popular y versátil es la extrusión termoplástica, donde la combinación de calor y esfuerzos mecánicos propician la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón, la desnaturalización de proteínas, la inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida de anaquel, la destrucción de compuestos antinutricionales y la drástica o total eliminación de cuentas microbianas en el producto a la salida del extrusor. Los cambios en las propiedades del almidón y las proteínas resultan en la formación de un material plástico capaz de ser formado o reestructurado (Serna, 2013).

Todo proceso de extrusión incluye la premezcla de ingredientes, los cuales son alimentados por medio de un sistema horizontal o vertical generalmente integrado a un sistema de pre-mezclado o pre-acondicionado (Serna, 2013). Posteriormente la pasta de almidón preparada se somete a extrusión. La extrusión debe llevarse a cabo bajo desgasificación, de lo contrario no se formará una lámina de masa firme debido a vacíos. Además, no se produce la distribución homogénea del agua en la lámina de masa, dando como resultado falta de transparencia uniforme en los fideos de almidón (Hong-Zhuo *et al.*, 2009). El flujo del material a través del extrusor depende principalmente de la tasa de alimentación, rpm a que opera el tornillo, diseño de la rosca y diámetro de salida en el dado o matriz presentes en la salida del extrusor. El sistema de dado o matriz tiene como función principal formar el material plástico o cocido que corre a través del extrusor (Serna, 2013). Después de la cocción por extrusión, los fideos se mantiene a 4 °C para acelerar la retrogradación del almidón, lo que contribuye al desarrollo de la sensación de textura y sabor en la boca (Hong-Zhuo *et al.*, 2009).



Capítulo 3

Justificación

3. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, hay una progresiva demanda del consumo de alimentos libres de gluten (LG), no sólo por el creciente número de personas que exhiben el padecimiento de la enfermedad celiaca (EC), sino también por otros que desean excluir productos a base de gluten en su dieta debido a sus efectos benéficos para la salud, tales como la reducción de riesgo de la enfermedad celiaca y reacciones alérgicas. Desafortunadamente las proteínas del gluten son esenciales para la elaboración de productos de alta calidad, por lo que la sustitución de la red de gluten para la fabricación de estos, se ha convertido en un gran reto tecnológico.

En la actualidad ya es posible encontrar una amplia variedad de productos LG, elaborados a partir de harina y/o almidón de arroz, maíz, patata u otros tubérculos. Sin embargo, la investigación de alimentos LG se ha enfocado principalmente en productos horneados, por lo que aun existe una gran necesidad de prestar amplia atención a otro tipo de productos alimenticios tales como las pastas debido a que son el segundo alimento más consumido en el mundo, después del pan.

Una de las cualidades del tubérculo de chayote o chayotextle, es su alto contenido de almidón, el cual podría utilizarse para obtener pastas con bajo o nulo contenido de gluten, de rápida digestibilidad con apariencia y textura similar a la de una pasta elaborada a partir de harina de trigo, es por ello que se puede considerar que este tubérculo podría llegar a ser una fuente importante para la elaboración de pastas con bajo contenido de gluten.



Capítulo 4

Objetivos

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar las características físico-químicas y reológicas de masas y pastas con bajo contenido de gluten elaboradas con sémola de trigo y harina de chayotextle pre-gelatinizadas.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar pruebas reológicas a las masas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle pre-gelatinizada, para la elaboración de pastas.
- Encontrar la fórmula óptima de masas con sémola de trigo y harina de chayotextle pre-gelatinizada.
- Determinar propiedades físicas, químicas y sensoriales de pastas elaboradas con sémola de trigo y harina de chayotextle pre-gelatinizada.
- Valorar la digestibilidad del almidón en masas y pastas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle pre-gelatinizada, así como, cuantificar la concentración de gluten en el producto final.



Capítulo 5

Materiales y
Métodos

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materia prima

Se utilizó la raíz tuberizada del chayote, mejor conocido como chayotextle (*Sechium edule Sw.*), el cual fue comprado en un tianguis comercial de Zacatlán, Puebla y sémola de trigo (*Triticum durum*), la cual fue adquirida en un comercio local.

5.2 Obtención de harina de Chayotextle

Para la elaboración de la harina, el tubérculo utilizado fue de tamaño mediano sin ningún tipo de daño mecánico, el cual fue lavado con suficiente agua, para retirar excesos de polvo e impurezas, para posteriormente cortarlo en rodajas de 2 a 3 mm aproximadamente y así proceder a la deshidratación del tubérculo, utilizando un horno de secado a temperatura controlada de 40 °C durante un periodo de 24 h (modificado de Jiménez-Hernández *et al.*, 2011).

Una vez deshidratado el tubérculo, fue molido en una licuadora industrial marca Waring Laboratory, para finalmente obtener la harina, la cual se hizo pasar por un tamiz de malla cuadrada marca Tyler (no. 40 - 425 µm, diámetro de alambre de 0.28 mm), con la finalidad de homogeneizar el tamaño de partícula tal como se muestra en la Figura 6. Dicha operación también fue aplicada para la sémola de trigo.

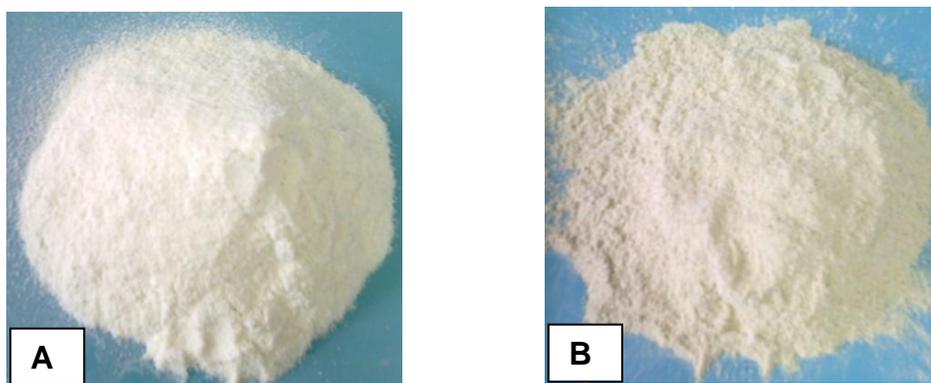


Figura 6. A) Sémola de trigo, B) Harina de chayotextle (nativas).

5.3 Pre-gelatinización de harina de chayotextle y sémola de trigo

A cada muestra fue aplicado un tratamiento de hidratación previo a la pre-gelatinización, para la harina de chayotextle (HCH) se agregaron 35 mL de agua destilada, mientras que para la sémola de trigo (ST) fueron adicionados 25 ml de la misma, en ambas adiciones fueron por cada 100 g de muestra para así alcanzar la humedad deseada en cada una de ellas tal como se observa en el Cuadro 4. Finalmente las muestras permanecieron en refrigeración durante 24 h. transcurrido este tiempo se procedió a la pre-gelatinización de las harinas, para tal proceso fue utilizado un extrusor de un solo tornillo marca BEUTELSPACHER, a diferentes condiciones de temperatura y rpm para cada una de las harinas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Condiciones de la muestra para la pre-gelatinización.

Muestra	Temperatura (°C)			% Humedad	Velocidad de tornillo (rpm)
	T ₀	T _i	T _f		
HCH	48	61	56	42	45
ST	70	83	80	35	50

T₀ = Temperatura inicial, T_i = Temperatura intermedia, T_f = Temperatura final, **HCH** = Harina de chayotextle, **ST** = Sémola de trigo.

Los extrudidos obtenidos fueron secados a temperatura ambiente durante una semana para posteriormente proceder a la molienda y tamizado una vez más, para así obtener harina pre-gelatinizada (Figura 7).



Figura 7. Harinas pre-gelatinizadas (sémola de trigo y harina de chayotextle).

5.4 Diseño de tratamientos

Se formularon mezclas de 100 g, con sémola de trigo (ST) y harina de chayotextle (HCH), con la finalidad de disminuir el contenido de gluten en las mismas. Para ello fueron agregados distintos porcentajes de HCH, que van del 10, 20 y 30% (Giménez *et al.*, 2012), tal como puede observarse en el cuadro 5, las cuales posteriormente se evaluaron mediante pruebas fisicoquímicas y reológicas.

Cuadro 5. Formulación de mezclas, elaboradas con sémola de trigo y harina de chayotextle.

Tratamiento	Formulación (%)	
	Sémola de trigo	Harina de Chayotextle
Testigo	100	0
M1	90	10
M2	80	20
M3	70	30
HCH	0	100

Testigo: Sémola de trigo **M1:** Mezcla 1 **M2:** Mezcla 2 **M3:** Mezcla 3

5.5 Actividad de agua (*Aw*)

Este parámetro se determinó por el método 926.01 del AOAC (1990), tal como sigue: la harina fue colocada en la sonda porta muestra de 40 mm de diámetro (Figura 8), posteriormente se espero de 5 a 10 min hasta que la lectura de *Aw* estuviera estable, esta prueba fue realizada por triplicado para cada uno de los tratamientos.



Figura 8. Determinación de A_w (equipo HygroLab)

5.6 Determinación de contenido de humedad

La humedad de la HCH, ST, así como, las mezclas de las mismas fueron determinadas pesando por triplicado 1 g de muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada y a peso constante, una vez pesadas, las cápsulas se dejaron en una estufa calibrada a una temperatura de 100 °C por 24 h. Transcurrido este tiempo las cápsulas fueron extraídas de la estufa, para posteriormente dejarlas en un desecador a temperatura ambiente hasta su enfriamiento, y finalmente pesarlas (Medina, 2013).

5.7 Evaluación de la digestibilidad

La digestibilidad de las muestras fue determinada usando un kit de Megazyme para almidón resistente basado en el método 2002.02 de la AOAC y el método 32-40 de la AACC. La técnica de evaluación de la digestibilidad fue determinada tanto para la harina de chayotextle como para la sémola de trigo pre-gelatinizadas y no pre-gelatinizadas, así como en pastas.

5.8 Cuantificación de gluten

La concentración de gluten se realizó basándose en la técnica 3810 de la AACCC (1995), como sigue: se pesaron 20 g de harina, y posteriormente fue añadida suficiente agua hasta la obtención de una masa firme, la cual estuvo sumergida en agua para dejarla reposar durante 40 min a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo la masa se lavó a mano bajo la corriente de agua del grifo y sobre un tamiz de malla cuadrada marca Tyler (no. 80) para eliminar el almidón y toda la materia soluble, dicha operación tomo de 20-30 min y una vez eliminado el almidón, se obtuvo una bola de gluten, para asegurarse que el gluten estaba libre de almidón, el agua de lavado tenía que ser transparente. Terminado el proceso de lavado el gluten se presionó con las manos, hasta dejarlo lo más seco posible, posteriormente fue colocado en una charola de aluminio y pesado como gluten húmedo, para finalmente someterlo a secado en un horno de secado hasta peso constante a 100 °C durante 24 h y así obtener gluten seco.

5.9 Pruebas de textura para las masas

Diversas pruebas de textura fueron realizadas para las distintas masas, tales como, análisis de perfil de textura (TPA), adhesividad y extensibilidad, estos atributos de textura se midieron en un Texturómetro Brookfield Texture Analyzer (Figura 9). Para ello se prepararon lotes de masa de 100 g por cada tratamiento y se dividieron en porciones correspondientes a la cantidad necesaria para cada ensayo.



Figura 9. Texturómetro Brookfield

5.9.1 Análisis de perfil de textura

Para la determinación de textura se utilizó una celda de carga de 4.5 kg, a una velocidad de 1 mm/s, con una carga de activación de 6.8 g y una base estándar TA-BT-KIT. Esta prueba constó de dos ciclos de compresión y un porcentaje de deformación del 20%, para esto, las muestras se comprimieron durante 15 min con una sonda de acero inoxidable de 3.50 cm de diámetro, (Figura 10), obteniéndose así, los parámetros de dureza, cohesividad, adhesividad y elasticidad de las masas (Pérez, 2012)



Figura 10. Acondicionamiento de la muestra para el APT.

5.9.2 Extensibilidad de masas

Para esta prueba la muestra fue colocada en el utensilio “SMS/Kieffer”, el cual es previamente untado con una pequeña cantidad de aceite para evitar la adherencia de la masa, posteriormente es prensado durante 45 min, para la formación y compactación de tiras tal como se observa en la Figura 11 una vez transcurrido este tiempo las tiras son retiradas con una espátula, evitando así la extensión y rompimiento de las mismas (Güemes *et al.*, 2012).



Figura 11. Acondicionamiento de la muestra para la prueba de extensibilidad

A continuación la muestra fue colocada en el aditamento “Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig” del texturómetro (Figura 12), para realizar la prueba de extensibilidad de masas. Una vez que el gancho sujeta la masa, inicia la extensión hasta que la masa alcanza su límite elástico.



Figura 12. Prueba de extensibilidad de masas

5.10 Elaboración de pastas

Para la elaboración de las pastas, fueron preparados 200 g de masa (mezcla de ST y HCH), para este caso se agregó agua para formar una masa homogénea, la cual estuvo en reposo por 15 min., transcurrido este tiempo se procedió a la laminación y corte, usando una maquina cortadora de tallarines (Figura 13), una vez obtenidos los tallarines fueron colocados en papel encerado para dejarlos sobre una malla durante 2 días para secarlas (Flores, 2008).

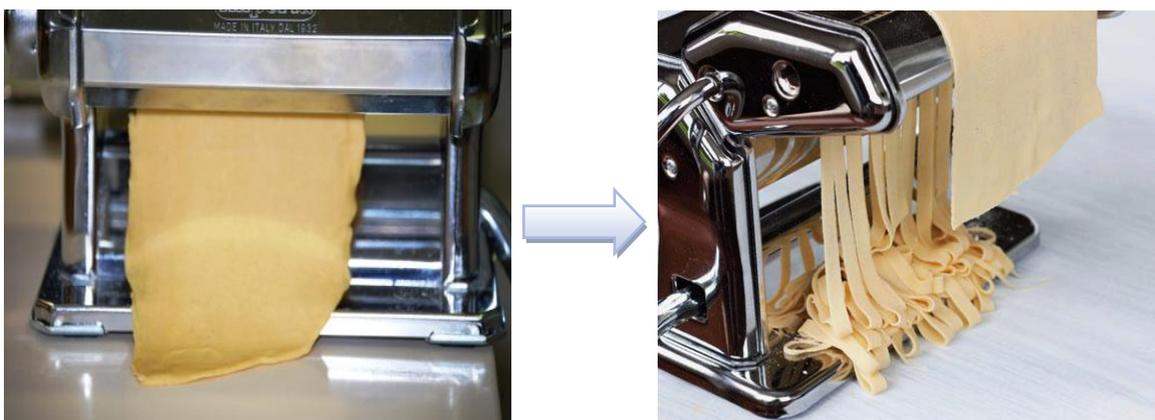


Figura 13. Laminado y corte de la masa (tallarines)

5.11 Evaluación de calidad de pastas

Después de la obtención de las pastas se procedió a la realización de distintas pruebas para la evaluación de calidad de las mismas, tales como: prueba de extensibilidad, análisis químico proximal, determinación de color, así como la digestibilidad e hidrolisis del almidón, y finalmente un análisis sensorial.

5.11.1 Extensibilidad de pastas

Para la realización de esta prueba se utilizaron las pastas elaboradas con las formulaciones presentadas en el Cuadro 5, pero primeramente se sometieron a un proceso de cocción durante 5 min. La pasta cocida (una sola hebra) fue colocada en el aditamento “Kieffer Dough and Gluten Extensibility Rig” (Figura 14).

Posteriormente la sonda sujeto la hebra y empezó a extenderla hasta que la pasta se rompió (Flores, 2008).



Figura 14. Prueba de extensibilidad de pastas

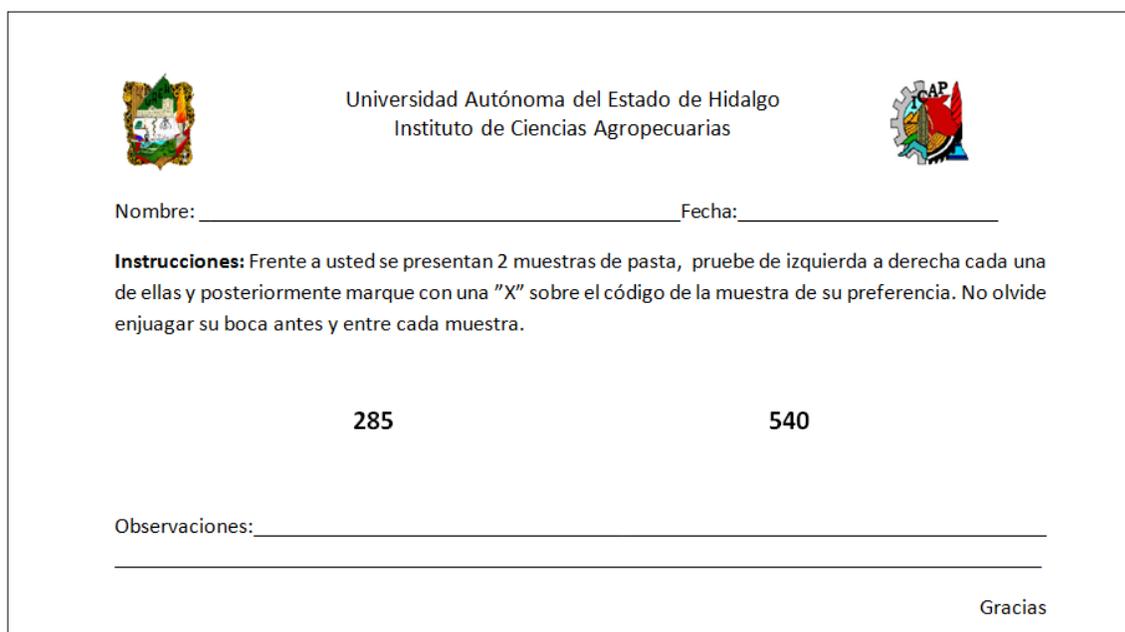
5.11.2 Determinación de color en pastas

El color en las pastas es un factor importante para la aceptación o rechazo de las mismas. La determinación de color fue realizada a través de los parámetros L^* , a^* y b^* , utilizando un colorímetro (MINOLTA CM-508d, Japón), sistema CIELAB (Pérez, 2012). Realizando 10 mediciones de color sobre la superficie de cada pasta, para posteriormente registrar los valores obtenidos de L^* , a^* y b^* .

En el espacio de color (L^* , a^* y b^*) el coeficiente de luminosidad L tiene un intervalo de negro = 0, blanco = 100. Las coordenadas (a^* , b^*) localizan el color sobre una coordenada rectangular perpendicular a L^* . El color en el origen ($a^* = 0$) es acromático (gris). Sobre el eje horizontal x , a^* positivo indica las tonalidades de rojo y a^* negativo, las tonalidades de verde. Sobre el eje vertical, b^* positivo indica amarillo, b^* negativo indica azul.

5.11.3 Evaluación sensorial

Como prueba final se llevo a cabo un análisis sensorial, basado en el libro de Anzaldúa (1994), con una prueba de preferencia, en la que participaron 30 jueces tipo consumidor. Los cuales probaron y señalaron de acuerdo al grado de aceptabilidad del nuevo producto. En la Figura 15, se observa el formato utilizado para la realización de esta prueba.



The image shows a form for a sensory test of pasta. At the top, there are two logos: the coat of arms of the State of Hidalgo on the left and the logo of the Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) on the right. The text in the center reads 'Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo' and 'Instituto de Ciencias Agropecuarias'. Below the logos, there are two lines for 'Nombre:' and 'Fecha:'. The main instructions state: 'Instrucciones: Frente a usted se presentan 2 muestras de pasta, pruebe de izquierda a derecha cada una de ellas y posteriormente marque con una "X" sobre el código de la muestra de su preferencia. No olvide enjuagar su boca antes y entre cada muestra.' Below the instructions, there are two columns with the numbers '285' and '540' centered under them. At the bottom, there are two lines for 'Observaciones:' and the word 'Gracias' in the bottom right corner.

Figura 15. Formato empleado para el análisis sensorial de pastas

5.12 Análisis químico proximal

Tanto harinas como producto final (pasta), fueron evaluadas mediante un análisis químico proximal para determinar las características cuantitativas y cualitativas de las biomacromoléculas presentes en los mismos, utilizando los métodos oficiales recomendados por la AOAC (1990).

La cuantificación de proteína fue realizada por el método Kjendahl 988.05; fibra cruda por el método 962.09; cenizas y grasa por las técnicas (942.05 - 920.30 respectivamente); el contenido de humedad se determinó utilizando una

termobalanza, y la determinación de carbohidratos se realizó por diferencia. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.

5.13 Análisis estadístico

En esta investigación se aplicó un diseño completamente al azar y los datos tanto de masas como de pastas fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95%. Posteriormente los resultados fueron sometidos a una comparación de medias mediante una prueba de Dunnett, para determinar las diferencias significativas de las distintas mezclas con respecto al testigo. Todo el análisis se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico NCSS 2007 (Modificado de: Pérez, 2012).



Capítulo 6

Resultados y

Discusiones

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Pre - gelatinización de harinas

Una vez obtenida la harina de chayotextle (HCH) se procedió a la pre-gelatinización de esta, así como a la de la sémola de trigo (ST). En el cuadro 4 puede observarse que se utilizaron distintas condiciones tanto de extrusión, como porcentaje de humedad para cada muestra, esto debido a que se sabe que la temperatura de gelatinización depende de las características del gránulo de almidón, tales como grado de cristalinidad y también parte, de la fuente de almidón (Chillo et al., 2009)

Es importante señalar que la temperatura de pre-gelatinización aplicada para la ST, fue mayor que la utilizada en HCH esto concuerda con un estudio realizado, en almidones de papa, tapioca y maíz, en donde se observó que almidones de papa y tapioca formaron pastas a temperaturas inferiores, que las mostradas para la formación de pasta a partir de almidón de maíz, lo cual es atribuido al hecho de que almidones de raíces generalmente gelatinizan más rápido que almidones de cereales, debido a que estos últimos presentan un mayor grado de cristalinidad (Mishra y Rai, 2006).

6.2 Contenido de humedad de harinas nativas y pre-gelatinizadas

El contenido de humedad es uno de los parámetros utilizados como un indicador de calidad de los alimentos, por lo que es necesaria su determinación, para conocer el impacto sobre las propiedades sensoriales, físicas y microbiológicas en el producto final (Hathorn *et al.*, 2008). En el Cuadro 6 puede apreciarse que para las harinas nativas solo la HCH muestra diferencias significativas con respecto al control, no obstante, se aprecia una disminución del contenido de humedad al incrementar el porcentaje de sustitución de ST, observándose el menor contenido de humedad del 10.29% en el tratamiento M3, comparado con el testigo el cual presentó 10.91% de humedad, Kolawole *et al.* (2014) mencionan que el bajo

contenido de humedad indica una mejor estabilidad contra la rotura durante la molienda, y la buena capacidad de almacenamiento para mantener la calidad del almidón.

Para las harinas pre-gelatinizadas en el Cuadro 6 es posible observar que la HCH con un contenido de humedad de 12.53% es la única que muestra diferencias significativas con respecto al control (11.09%), cabe destacar que, estas harinas presentan un ligero incremento en cuanto al contenido de humedad, comparadas con harinas nativas. Esto puede ser debido a que antes del proceso de pre-gelatinización de las mismas hubo un pre-acondicionamiento, en el que tanto la HCH como la ST fueron hidratadas hasta llegar a un porcentaje de humedad de 42 y 35% respectivamente. No obstante, el contenido de humedad final aun es permisible para este tipo de productos, tal como lo reporta un estudio realizado por Odeku *et al.* (2008), en donde almidones pre-gelatinizados presentaron contenidos de agua de 10-12% (p/p), dichos autores mencionan que en la mayoría de los países que producen almidones, el contenido máximo de agua prescrito para un almacenamiento seguro de estos es del 13%, debido a que niveles más altos de agua podrían afectar el flujo, las propiedades mecánicas, así como conducir al deterioro microbiano y posterior daño de calidad de los mismos.

Cuadro 6. Contenido de humedad en harinas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	Contenido de Humedad (%)	
	Harina nativa	Harina pre-gelatinizada
TESTIGO	10.91 ± 0.26	11.09 ± 0.99
M1	10.86 ± 0.12	11.69 ± 0.19
M2	10.62 ± 0.44	11.73 ± 0.54
M3	10.29 ± 0.47	11.86 ± 0.45
HCH	8.89 ± 0.34 *	12.53 ± 0.19 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, (P <0,05).

6.3 Actividad de agua de harinas nativas y pre-gelatinizadas

La actividad de agua (A_w) es uno de los factores, que favorece o impide el crecimiento de microorganismos en los alimentos (Hathorn *et al.*, 2008), también afecta la vida útil, la textura, el aroma, el olor, la migración de humedad, el apelmazamiento y color de los alimentos. Los intervalos de contenido de humedad de alimentos en general oscilan entre 27-39% y una A_w de 5.8 a 7.25 respectivamente, pero las harinas generalmente tienen un nivel bajo de A_w , por lo que pueden mantenerse por mucho más tiempo (Tortoe *et al.*, 2009).

El Cuadro 7 presenta los resultados obtenidos para harinas nativas así como para pre-gelatinizadas. Puede apreciarse que los tratamientos muestran diferencias significativas con respecto al testigo en ambos casos, siendo la HCH en harinas nativas la que exhibe el valor de A_w más baja (0.491 ± 0.004) comparado con el testigo 0.568 ± 0.003 . No obstante en harinas pre-gelatinizadas la HCH exhibió el valor más alto (0.595 ± 0.001), estas muestras también presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al testigo. Es preciso mencionar que independientemente de que las harinas pre-gelatinizadas hayan presentado un contenido de humedad más alto que las harinas nativas, ambas muestras presentaron una A_w similar. Esto podría deberse a que, el agua contenida en un alimento está presente de forma disponible y ligada Badui (2013), señala que la concentración entre el agua libre y ligada incrementa en la medida en que el producto contiene más agua. Por lo que algunos investigadores consideran que el agua ligada está fuertemente unida al alimento mediante puentes de hidrógeno, mientras que otros establecen que dicha agua solo está físicamente atrapada en una matriz muy viscosa que no permite su movilidad y difusión, y por lo tanto no está disponible. Por lo que es posible pensar que en las harinas pre-gelatinizadas el mayor porcentaje de agua presente podría ser agua ligada, debido a que, el agua disponible es aquella que se volatiliza fácilmente o pierde durante el calentamiento y la cual está directamente relacionada con la A_w .

De ahí la importancia de la reducción de una A_w al valor mínimo, ya que es una de las maneras más comunes para prevenir ó disminuir las posibilidades de crecimiento de moho y proliferación microbiana (Hathorn *et al.*, 2008). Asimismo, cabe destacar que las harinas pueden clasificarse como alimentos de humedad intermedia, debido a que tienen una A_w que van de 0,60 a 0,90, lo cual hace posible su almacenamiento a temperatura ambiente con mayor vida útil que los alimentos frescos (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

Cuadro 7. Efectos de A_w de sémola de trigo sustituida con harina de chayotextle.

Tratamiento	A_w	
	Harinas nativas	Harinas pre-gelatinizadas
Testigo	0.568 ± 0.003	0.574 ± 0.003
M1	0.551 ± 0.001 *	0.564 ± 0.005 *
M2	0.551 ± 0.002 *	0.555 ± 0.001 *
M3	0.536 ± 0.002 *	0.537 ± 0.002 *
Harina	0.491 ± 0.004 *	0.595 ± 0.001 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, ($P < 0,05$).

6.4 Contenido de gluten

El Cuadro 8 muestra resultados del contenido de gluten en los distintos tratamientos, y puede observarse que solo M3 (1.70 ± 0.05) presenta diferencia significativa con respecto al testigo con un valor de 2.13 ± 0.01 , estos datos indican que el contenido de gluten disminuye al incrementar el porcentaje de sustitución de la ST. Por lo tanto, la sustitución de una parte de harina de trigo para la obtención de harinas con bajo contenido de gluten reduce la concentración de las proteínas del trigo (Nindjin *et al.*, 2011). Cabe mencionar que los tubérculos y raíces son importantes fuentes de hidratos de carbono y son utilizados como alimentos básicos en países tropicales y subtropicales. Estos productos tienen componentes nutricionalmente benéficos, tales como almidón resistente y no contienen nada de gluten, también son una fuente rica de almidón, el cual juega

un papel importante en las propiedades de textura de algunos productos como fideos (Yadav *et al.*, 2014). Varios autores han informado que la sustitución total o parcial de ST diluye la red de gluten, tal como, el estudio en el cual la harina de trigo fue sustituida por harina de ñame purpura (*Dioscorea alata*), dando como resultado una disminución del gluten (Po-Hsien *et al.*, 2012).

Cuadro 8. Contenido de gluten en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	Contenido de gluten	
	Gramos	%
Testigo	2.13 ± 0.01	10.67
M1	2.07 ± 0.17	10.34
M2	2.03 ± 0.03	10.15
M3	1.70 ± 0.05 *	8.52 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, (P <0,05).

6.5 Análisis de Perfil de Textura en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle (harinas nativas).

Los datos reportados en el Cuadro 9 muestran los resultados obtenidos a través de un Análisis de Perfil de Textura realizado en masas para cada uno de los tratamientos los cuales fueron comparados con una muestra testigo.

6.5.1 Dureza

El Cuadro 9 muestra los resultados de la dureza en masas, y es posible apreciar que existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la masa testigo, a excepción del tratamiento que fue sustituido con 10% de HCH (M1), ya que presentó una dureza de 1.17 ± 0.05 kg, dicha mezcla aparentemente muestra el mismo comportamiento que el testigo (0.91 ± 0.07 kg). Asimismo, puede observarse un incremento de dureza en las masas a medida que aumenta el

porcentaje de sustitución de la ST. Resultados similares fueron encontrados en un estudio realizado por Neri, (2007), en donde se observó, que la dureza de masas para la elaboración de pastel de chocolate aumentó significativamente con mayores porcentajes de celulosa, este autor atribuyó que dicho comportamiento podría deberse a que la celulosa es porosa, así como a la estructura fibrosa que esta presenta, lo cual permite una mayor retención de agua, y como resultado al integrarse con la harina, la mezcla obtenida es más dura.

Otro estudio realizado por Ayadi *et al.* (2009), acerca de masas enriquecidas con 0, 10, 15 y 20% de harina de cladodios de *Opuntia ficus indica* mostraron que la masa se tornó más rígida con el aumento de harina de cladodios en la mezcla. Estos autores informaron que dicho resultado podría explicarse debido a la dilución de las proteínas del gluten o interacciones entre polisacáridos y proteínas de la harina de trigo. Este cambio de textura también puede ser debido a la interacción entre los materiales fibrosos y el gluten, que afecta a las propiedades de la masa.

Cuadro 9. Efectos de la dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamientos	Dureza	Adhesividad	Elasticidad	
	(kg)	(g.s)	Cohesividad	(mm)
ST	0.91 ± 0.07	7.95 ± 0.23	0.58 ± 0.03	0.88 ± 0.01
M1	1.17 ± 0.05	16.65 ± 1.62	0.64 ± 0.01	0.96 ± 0.001
M2	1.38 ± 0.08 *	21.49 ± 1.31	0.65 ± 0.04	0.96 ± 0.01
M3	1.52 ± 0.09 *	25.04 ± 1.93	0.64 ± 0.05	0.96 ± 0.01
HCH	4.42 ± 0.21 *	63.41 ± 3.72 *	0.28 ± 0.07 *	0.62 ± 0.04 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo.

ST: Sémola de trigo (100%), HCH: Harina de chayotextle (100%), M1: ST 90% y HCH 10%, M2: 80/20, M3: 70/30.

6.5.2 Adhesividad

En cuanto a la adhesividad es posible observar que no existen diferencias significativas con respecto al testigo (Cuadro 9), a excepción de la HCH de 63.41 ± 3.72 g.s, la cual muestra una mayor adhesividad comparada con el testigo (7.95 ± 0.23), lo que trae consigo un incremento de este parámetro a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de la ST en los distintos tratamientos.

Un estudio llevado a cabo por Gómez *et al.* (2008) en bizcochos, también se observó un incremento de la adhesividad al aumentar el porcentaje de harina de garbanzo, observándose una mayor adhesividad en aquellos que contenían el 100% de esta harina. Mientras que Marpalle *et al.* (2014), reportaron que la pegajosidad de la masa incremento con el aumento de linaza. Esto podría ser debido a un aumento de la absorción de agua, ya que una alta absorción conduce a la disminución de la capacidad de unión de agua con el gluten y por lo tanto el aumento de la pegajosidad. En otra investigación realizada en pastas de ñame (*D. cayenensis* y *D. alata*), estas presentaron valores altos de adhesividad, lo cual puede deberse a que la adhesión es una propiedad que está fuertemente relacionada con las características estructurales de la fracción de almidón, en particular por el estado de agregación de amilosa, además de la fracción de amilosa, el alto contenido de humedad también es uno de factores que puede influir en la adherencia de las mismas (Brunnschweiler *et al.*, 2006).

6.5.3 Cohesividad

La cohesión es una medida reológica que está relacionada con el grado de integración entre los componentes de la harina en la matriz de la masa (Marchetti *et al.*, 2012). El Cuadro 9 presenta los resultados de cohesividad en masas y es posible observar que no existen diferencias significativas de los tratamientos con respecto al testigo, excepto para la HCH de 0.28 ± 0.07 , el cual presentó un valor mucho más bajo comparado con el control 0.58 ± 0.03 . Sin embargo, es preciso mencionar que al adicionar HCH, también se apreció un aumento de la cohesividad en las masas. Dicho aumento podría deberse a que los polímeros de

glutenina forman estructuras muy cohesivas las cuales se fortalecen a medida que transcurre el tiempo, debido a los procesos oxidativos que ocurren en las redes de gluten con el oxígeno permitiendo más interacciones físicas entre ellos (Pérez, 2012). También podría ser debido a un mayor grado de polimerización (DP) de la fracción de amilosa, lo cual forma un gel relativamente débil con tendencia hacia una textura gomosa y cohesiva. La mayor lixiviación de la amilosa de los gránulos y el tipo de almidón (fuente botánica) también son factores que pueden ser responsable de los altos valores de cohesividad (Kaur *et al.*, 2005). En un estudio realizado en panes libres de gluten fue posible apreciar un aumento en la cohesividad de la miga, puesto que panes adicionados con almidón de yuca presentaron mayor cohesividad que aquellos que contenían almidón de maíz. Este comportamiento en la cohesión puede estar influenciado por la fuente botánica ya que el almidón de yuca forma geles más cohesivos que los almidones de cereales debido a su mayor proporción de amilosa-amilopectina, siendo la relación amilosa-amilopectina de 5:1 en la yuca y 3:1 en el arroz o maíz aproximadamente (Onyango *et al.*, 2011).

6.5.4 Elasticidad

El Cuadro 9 también muestra la elasticidad que presentaron las masas sustituidas con distintos porcentajes de HCH, en este análisis se obtuvo como resultado que los tratamientos no mostraron diferencia significativa con respecto al testigo, sin embargo, la masa de HCH (0.53 ± 0.19 mm) tuvo un comportamiento diferente comparado con la masa testigo (0.88 ± 0.01). También pudo apreciarse que al adicionar HCH, existe un aumento en la elasticidad, tal efecto puede ser causado por el manejo de la masa, ya que se considera un sistema complejo en donde las interacciones entre las proteínas hidratadas, la matriz del almidón y las interacciones (almidón – proteína) influyen en las propiedades viscoelásticas (Pérez, 2012). Otro factor importante en el incremento de elasticidad es la capacidad de hidratación de la harina, que depende del tamaño de partícula de la misma, la cantidad de almidón dañado que pudiera existir como resultado de la

trituration, contenido de proteína, así como los cambios en la unión del agua los cuales conducen a cambios en la estructura de la masa debido a la hidratación del almidón. Esto confirma que el incremento en la capacidad de hinchamiento del almidón, la disminución de la hidratación de otros compuestos en el sistema, afecta significativamente las propiedades de la masa (Witczak *et al.*, 2012).

En las harinas utilizadas para la elaboración de masas podría decirse que existe una considerable cantidad de almidón dañado, debido a los distintos métodos utilizados para la trituration con la finalidad de obtener harinas homogéneas y relativamente finas, ya que durante un proceso de molienda se generan fuerzas mecánicas intensas y energía térmica, produciendo de este modo daño en los gránulos de almidón (Heo, *et al.*, 2013). La pre-gelatinización podría ser otro de los factores que causó un aumento del contenido de almidón dañado, probablemente debido a los daños producidos por la tensión de cizallamiento y la temperatura sobre los gránulos de almidón durante la extrusión (Martínez *et al.*, 2014).

6.6 Análisis de Perfil de Textura en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle (pre-gelatinizadas).

En el Cuadro 10 se observa que para la dureza solo M3 (4.46 ± 0.07) y la HCH (4.67 ± 0.01) muestran diferencias significativas con respecto al testigo (3.44 ± 0.31), en cuanto a adhesividad todos los tratamientos presentaron diferencias significativas con respecto al testigo. En este cuadro también puede apreciarse que ambos parámetros aumentaron en todos los tratamientos con respecto a los mismos tratamientos conformados por harinas nativas. Dicho efecto, podría explicarse debido a que durante la pre-gelatinización el almidón sufre un colapso de ordenación molecular y cambios irreversibles en sus propiedades, tales como, pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hinchamiento de los gránulos, promoviendo así la interacción de las cadenas de polímero mediante la interrupción de la estructura cristalina y la disociación de la estructura de doble hélice en la región amorfa, seguido por la reordenación de los cristales

interrumpidos (Zavareze y Guerra, 2011). También puede deberse a que el proceso de gelatinización provoca cambios sustanciales, en la naturaleza química y física del gránulo de almidón, debido a la reorganización de enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares entre las moléculas de agua y almidón resultantes en el colapso o la interrupción de órdenes moleculares dentro del gránulo (Odeku *et al.*, 2008).

Cuadro 10. Efectos de la dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en masas pre-gelatinizadas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamientos	Dureza	Adhesividad	Cohesividad	Elasticidad
	(kg)	(g.s)		(mm)
ST	3.44 ± 0.31	33.92 ± 2.14	0.34 ± 0.21	0.68 ± 0.44
M1	3.84 ± 0.09	69.77 ± 2.76 *	0.38 ± 0.09	0.65 ± 0.25
M2	3.94 ± 0.07	64.91 ± 1.91 *	0.35 ± 0.02	0.57 ± 0.06
M3	4.46 ± 0.07 *	51.60 ± 0.55 *	0.28 ± 0.04	0.53 ± 0.04
HCH	4.67 ± 0.01 *	69.25 ± 2.46 *	0.29 ± 0.05	0.05 ± 0.03 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo.

Mientras que para la cohesividad (Cuadro 10), se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la masa testigo, siendo M1 aquella que muestra un alto valor (0.38 ± 0.09), para el parámetro de elasticidad solo la HCH con un valor de 0.05 ± 0.03 es la que presenta diferencia significativa con respecto al testigo. Es importante señalar que se observa una disminución de estos parámetros comparado con los resultados obtenidos en harinas nativas, lo que podría atribuirse a las altas temperaturas que se aplicaron durante el proceso de pre-gelatinización tal como lo reporta Martínez *et al.* (2013), estos autores mencionan que la estabilidad de la masa tiende a disminuir con el aumento de la intensidad de extrusión, debido a que, la estabilidad depende de las características de la red de proteínas, lo cual puede estar relacionado con la degradación de la matriz de gluten que ocurre durante el proceso de extrusión, a causa del aumento de la temperatura, modificando así las características que componen la matriz de gluten.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el comportamiento reológico de masas depende de varios factores como: la naturaleza de la matriz de proteína y su cantidad, la interacción entre la matriz proteica y otros componentes, tipo de almidón, el contenido de grasa y fibra, así como las condiciones de proceso (Chillo *et al.*, 2009). Por otro lado y más importante aún, es que las propiedades reológicas determinan la textura del producto, lo que afecta la percepción sensorial y en última instancia, la aceptación de un producto por el consumidor (Álvarez *et al.*, 2014), esto podría ser la causa del diferente comportamiento reológico de las masas investigadas, debido a que la ST y la HCH son fuentes de almidón que difieren significativamente tanto en composición, como en morfología.

6.7 Extensibilidad de masas

El Cuadro 11, muestra los resultados obtenidos de la prueba de extensibilidad de masas de ST sustituidas con HCH elaboradas a partir de harinas nativas como de pre-gelatinizadas, las cuales se compararon con una masa testigo.

6.7.1 Harinas nativas

Es posible observar que al agregar HCH existen efectos sobre este parámetro ya que al incrementar el porcentaje de sustitución de la sémola, la extensibilidad disminuye (Cuadro 11). Sin embargo, solo M3 con una extensibilidad de 39.37 mm mostró diferencias significativas con respecto al testigo, esto puede deberse a que en esta mezcla el porcentaje de sustitución de ST fue hasta en un 30%, disminuyendo así el contenido de gluten, el cual imparte fuerza y extensión a la masa, ya que la red proteica es más fuerte, debido a que está influenciada por el contenido de proteína de la harina (Zaidel *et al.*, 2008). Tal resultado también puede explicarse por la dilución de gluten de trigo y aumento del contenido de fibra, lo que igualmente altera la red de gluten en las masas (Rieder *et al.*, 2012). Asimismo este efecto podría estar relacionado con la composición de glutenina

debido a que dicha fracción proteica es la responsable de impartir dureza a la masa, así como las propiedades extensionales de la misma, lo cual se ve reforzado por el hecho de que a medida que la dureza de la masa incrementa aún más, la extensibilidad disminuye (Anderssen *et al.*, 2004).

Estudios realizados por Rieder *et al.*, (2012) muestran resultados similares en masas de harina de trigo, en donde la sustitución con harina de cebada o salvado de avena, condujo a una reducción significativa de la extensibilidad de la masa, mostrando que las diferencias de disminución en comparación con el control fueron pequeñas. Existe otro estudio en donde es posible observar que la adición de harina de ñame (*Dioscorea alata*) disminuyó la extensibilidad de la masa, con incrementos en las proporciones de 5 a 20% (Po-Hsien *et al.*, 2012).

Cuadro 11. Efectos de la extensibilidad en masas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	Extensibilidad (mm)	
	Harina nativa	Harina pre-gelatinizada
ST	46.19 ± 3.58	11.96 ± 1.78
M1	44.30 ± 2.58	11.83 ± 0.96
M2	44.06 ± 1.60	11.52 ± 0.97
M3	39.37 ± 1.08 *	11.43 ± 2.22

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo.

6.7.2 Harinas pre-gelatinizadas

Para las harinas pre-gelatinizadas puede observarse la misma tendencia de disminución de la extensibilidad a medida que incrementa el porcentaje de sustitución, sin embargo, no existen diferencias significativas de los distintos tratamientos con respecto al testigo tal como se puede observar en el Cuadro 11. Es preciso destacar que la adición de harinas extruidas disminuye drásticamente la extensibilidad de la masa en todos los casos, comparada con la extensibilidad

de masas elaboradas con harinas nativas. Estas variaciones en las características de extensibilidad pueden estar relacionadas principalmente a dos factores: la degradación de la matriz de gluten y la modificación de almidón, los cuales son efectos del tratamiento de extrusión, debido a que la degradación de la matriz de gluten aumenta con la intensidad del tratamiento. Mientras que la modificación del almidón durante el proceso de extrusión conduce a un incremento en la consistencia de la masa debido al aumento en la cantidad de almidón dañado y su mayor capacidad de absorción de agua (Martínez *et al.*, 2013).

6.8 Digestibilidad e hidrólisis de almidón en harinas nativas

La digestión del almidón ha sido el objeto de investigaciones que implican, en su mayoría la medición *in vitro* de la susceptibilidad de los almidones al ataque de diferentes enzimas, en lugar de medir la digestibilidad real *in vivo* (Copeland *et al.*, 2009). No obstante aunque la cantidad de almidón total en la HCH es alta, una buena proporción de ésta no es disponible a la hidrólisis por enzimas digestivas, tal como se puede observar en el Cuadro 12.

6.8.1 Almidón disponible

El Cuadro 12 muestra que existen diferencias significativas de todos los tratamientos con respecto a la muestra testigo, también se observa que el contenido de almidón disponible (AD) disminuye desde un 28.75% presentado por la muestra testigo, hasta un 9.57% para el tratamiento M3, esta tendencia quizá se deba al efecto de concentración de HCH ocasionado por la sustitución, la cual mostró el valor más bajo de AD (0.13%). Sin embargo, son varios los factores que influyen en la biodisponibilidad enzimática del almidón y por tanto en la velocidad de digestión de este, tales como la estructura química (relación amilosa-amilopectina), la presencia de ciertos componentes como, ácidos orgánicos, fibra, contenido y naturaleza de la proteína, cantidad de lípidos, tipo de procesamiento entre otros (Ovando, 2008).

Cuadro 12. Porcentaje de almidón disponible (AD), resistente (AR) y total (AT) presente en harinas nativas.

Tratamiento	AD (%)	AR (%)	AT (%)
Testigo	28.75 ± 1.01	0.44 ± 0.02	29.19 ± 0.99
M1	24.48 ± 1.84 *	9.32 ± 0.36 *	33.80 ± 2.20
M2	18.10 ± 0.11 *	12.69 ± 0.55 *	30.94 ± 0.77
M3	9.57 ± 1.31 *	23.64 ± 0.30 *	33.21 ± 1.01
HCH	0.13 ± 0.06 *	46.33 ± 1.83 *	46.45 ± 1.78 *

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo.

6.8.2 Almidón resistente

Para el contenido de almidón resistente (AR) también se encontraron diferencias significativas con respecto al testigo, tal como se muestra en el Cuadro 12 pues se observa un incremento en todas las mezclas a medida que aumentan el porcentaje de HCH, encontrándose el valor más alto de AR de 23.64% en el tratamiento M3, siendo la muestra testigo aquella que presentó el menor contenido de AR de 0.44%. El aumento en el contenido de AR se debe a que la HCH presenta un alto contenido de éste (46.33%). Asimismo, dicho incremento puede atribuirse a que algunos residuos de la pared celular presentes en la HCH, pueden atrapar a los gránulos de almidón, protegiéndolos del ataque enzimático (Ovando, 2008). Existen otros factores relevantes en las características del gránulo que pueden influir en la susceptibilidad al ataque de α -amilasa entre los cuales se encuentran: la superficie de cristalinidad, tamaño del gránulo y superficie específica disponible, proporción de amilosa-amilopectina, porosidad, heterogeneidad estructural y grado de integridad (Copeland *et al.*, 2009).

6.8.3 Almidón total

El contenido de almidón total (AT) entre los tratamientos oscilo entre el 29.19 y 33.21%, a excepción de la HCH la cual fue la única que mostró diferencia significativa con respecto al testigo, presentando el contenido más alto de almidón (46.45%), tal como puede observarse en el Cuadro12. Estos resultados indican que al disminuir la cantidad de ST, reduce también el contenido de almidón, pero que a su vez el almidón presente en la HCH sustituyó el almidón de trigo. Cabe mencionar que el alto contenido de AT en la HCH es debido a que este polisacárido es el principal componente del tubérculo de chayote (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

6.9 Calidad de pastas

6.9.1 Extensibilidad de pastas

En el Cuadro 13 se presentan los resultados correspondientes a la extensibilidad de pastas, tales datos indican que no hay diferencia significativa de los distintos tratamientos con respecto a la pasta testigo, también puede observarse una disminución de la extensibilidad conforme incrementaba el porcentaje de sustitución de la sémola, siendo M3 aquella que presentó el valor de extensibilidad más bajo (2.76 ± 0.48 mm), pero a su vez fue la que mostró mayor firmeza, comparado con la pasta testigo de 3.34 ± 0.54 mm.

Es preciso mencionar que los valores de extensibilidad fueron muy bajos con respecto a la extensibilidad de la materia prima utilizada (Cuadro 11), para la manufactura de las pastas (harinas nativas), esto puede deberse a que antes de la elaboración del producto, la materia prima fue sometida a un proceso de extrusión con el fin de tener una buena cantidad de almidón retrogradado, ya que esta modificación permite la formación de una red tridimensional continua de amilosa retrogradada y otras estructuras, tales como cristales complejos amilosa-lípido, los

cuales son responsables de estabilizar la red, impidiendo la solubilización del material cuando la pasta se somete a cocción (Giménez *et al.*, 2013). Por lo que la retrogradación del almidón es deseable, ya que sirve para dar rigidez a la pasta cocida, y para ello es necesario inducir la desorganización del almidón mediante tratamientos térmicos efectuados en condiciones específicas de humedad, seguida de la fase de enfriamiento en la que parte del almidón, amilosa principalmente es capaz de crear una red tridimensional fuertemente unida por cadenas cortas de almidón. Estas modificaciones pueden ser inducidas durante el proceso tecnológico o una alternativa, puede ser el uso de almidones pre-gelatinizados como materia prima (Mariotti *et al.*, 2011). En un estudio realizado por Martínez *et al.* (2013) menciona que la adición de harinas extruidas de trigo en la elaboración de pan disminuye la extensibilidad, obteniendo un aumento en la tenacidad de las mismas. No obstante, la disminución de la extensibilidad a medida que la concentración de HCH incrementa es probablemente el resultado de una red de gluten más débil causada por la sustitución de la ST, debido a que en altas cantidades las partículas de HCH alteran la matriz, lo cual se refleja en la capacidad de extensión (Silva *et al.*, 2013). En resumen, el gluten de la ST proporciona a las hebras de pasta una red fuerte que es afectada por distintos tipos y concentraciones de partículas incorporadas.

Cuadro 13. Efectos de la extensibilidad de pastas elaboradas a partir de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	Extensibilidad (mm)
ST	3.34 ± 0.54
M1	3.10 ± 0.73
M2	2.92 ± 0.39
M3	2.76 ± 0.48

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, (P <0,05).

6.9.2 Digestibilidad e hidrolisis del almidón en pastas (bio-disponibilidad).

La accesibilidad al almidón por acciones enzimáticas fue medido en pastas como un indicador de las modificaciones que sufrió el almidón a través de las diferentes etapas tecnológicas a las cuales se sometieron la HCH y la ST, primeramente durante la pre-gelatinización, así como, durante el proceso de elaboración de las pastas y finalmente por el tratamiento de cocción.

El Cuadro 14 muestra que no existe diferencias significativas para el AD entre los tratamientos con respecto a la pasta testigo, sin embargo, para el AR, si se encontraron diferencias significativas de los tratamientos con respecto al testigo. En los resultados obtenidos puede apreciarse que la pasta testigo fue la que presentó mayor porcentaje de AD (48.64%), pero también el contenido más bajo de AR con un valor de 2.88%. Cabe destacar que el contenido de AT fue similar entre las distintas pastas con respecto a la pasta testigo, no importando el porcentaje de sustitución de la sémola.

Cuadro 14. Porcentaje de almidón disponible (AD), resistente (AR) y total (AT), presente en pastas de sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	AD (%)	AR (%)	AT (%)
Testigo	48.64 ± 0.17	2.88 ± 0.02	51.52 ± 0.20
M1	47.33 ± 0.41	3.52 ± 0.06 *	50.84 ± 0.47
M2	48.87 ± 1.81	3.15 ± 0.01 *	52.02 ± 1.82
M3	47.95 ± 0.54	3.52 ± 0.02 *	51.47 ± 0.56

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, (P <0,05).

Independientemente de esta tendencia, en todos los tratamientos, es posible observar un incremento tanto de AD como de AT en las pastas comparado con la materia prima utilizada (harinas nativas), dicho efecto puede deberse a que antes de la elaboración de las pastas, las harinas fueron sometidas a un proceso de extrusión para obtener almidón pre-gelatinizado, Copeland *et al.* (2009), menciona

que almidones gelatinizados son digeridos mucho más rápido que los gránulos de almidón nativo. Lo cual podría atribuirse a que el tratamiento de gelatinización continua, induce a la desorganización progresiva de los gránulos de almidón lo que permite un aumento de la accesibilidad a la acción enzimática (Mariotti *et al.*, 2011). Otros autores mencionan que el proceso de gelatinización provoca una reorganización de las moléculas de almidón, que modifica las propiedades físico-químicas de los almidones, y entre los cambios principales esta la disminución en el poder de hinchamiento y solubilidad, así como el aumento de la susceptibilidad a enzimas (Faramade *et al.*, 2011).

Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Marti *et al.* (2010), en pastas de arroz, estos autores mencionan que, el porcentaje de almidón susceptible a la acción de la α -amilasa fue mayor después del proceso de extrusión, como resultado de una estructura diferente inducida por la temperatura. En general, la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática aumenta y la cantidad de AR disminuye a medida que incrementa la gravedad de extrusión (Martínez *et al.*, 2014).

En contraste una investigación realizada por Ovando-Martínez *et al.* (2009), demuestra que la cantidad de AD en espaguetis disminuyó con el aumento de harina de plátano, mientras que se obtuvo un incremento importante en AR. Esto puede deberse a que la limitación de la disponibilidad de agua, como consecuencia de la hidratación de polisacáridos solubles no almidonados, puede restringir la gelatinización del almidón y por lo tanto reducir la hidrólisis por la α -amilasa, así como la micro estructura de la pasta, relacionado con la compactación física, también puede ser responsable de una disminución de la accesibilidad a las enzimas digestivas. Hoy en día, hay un considerable interés en la importancia nutricional de las formas de almidones resistentes en los alimentos, por lo que pastas alimenticias que exhiban una baja tasa de hidrólisis enzimática de carbohidratos, podrían ayudar a ampliar la gama de alimentos de bajo índice glucémico disponibles para el consumidor (Ovando-Martínez *et al.*, 2009).

6.9.3 Color de pastas

El color de pastas es esencial para evaluar la calidad de la misma, ya que en general, los consumidores las prefieren con un color amarillo brillante, es por ello que valores de L^* y b^* son considerados muy importantes como atributos de color y es deseable en niveles más altos, para las pastas.

El Cuadro 15 presenta los datos obtenidos de la medición del color en pastas adicionadas con HCH, y dichos resultados muestran que para el parámetro de luminosidad (L^*) existen diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la pasta testigo, puede observarse como L^* disminuye a medida que incrementa el porcentaje de sustitución de la sémola tal como se observa en la Figura 16, puesto que el valor de L^* más alto de 63.13 ± 2.47 fue presentado por el testigo, siendo M3 aquella que tiene el valor más bajo de 43.40 ± 0.74 . En un estudio realizado por Petitot *et al.* (2010), observaron esta misma tendencia al adicionar harina de leguminosas lo que condujo a una disminución significativa en el brillo (L^*) de pasta seca, esto probablemente debido al alto contenido de cenizas en harinas de leguminosas. Lo que pudo ser uno de los factores que contribuyó a la reducción de L^* en las pastas adicionadas con HCH ya que esta harina presentó un alto contenido de cenizas.

Cuadro 15. Efectos del color en pastas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Tratamiento	L^*	a^*	b^*
Testigo	63.13 ± 2.47	12.69 ± 0.47	18.53 ± 0.86
M1	$53.38 \pm 1.57^*$	$14.53 \pm 0.87^*$	17.09 ± 1.15
M2	$43.69 \pm 0.99^*$	$18.65 \pm 1.17^*$	$23.23 \pm 1.49^*$
M3	$43.40 \pm 0.74^*$	11.43 ± 0.62	$4.29 \pm 0.83^*$

(*) Indica que existen diferencias significativas con respecto al testigo, ($P < 0,05$).

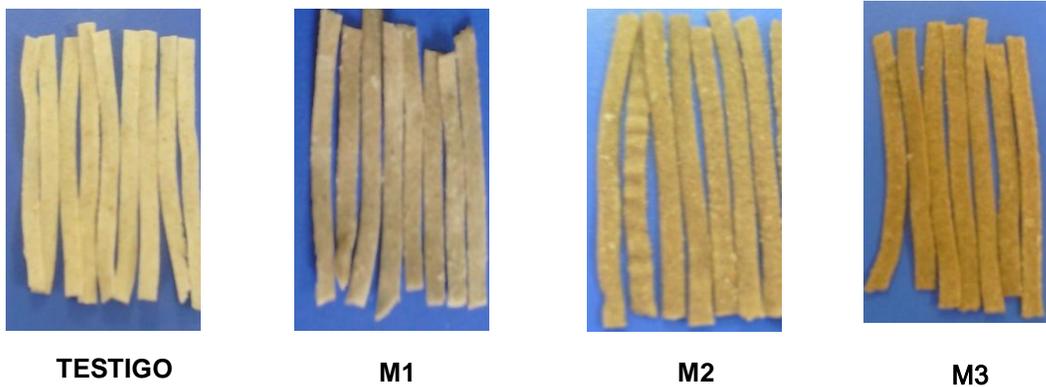


Figura 16. Color de pastas elaboradas con sémola de trigo sustituidas con harina de chayotextle.

Un aumento significativo del índice de color rojo (a^*) igualmente se observó, mostrando diferencias estadísticas entre los tratamientos con respecto al testigo. Los resultados presentaron un incremento de a^* de 12.69 ± 0.47 para la pasta testigo, siendo este el valor más bajo hasta un 18.65 ± 1.17 en M2, en cuanto a la amarillez (b^*), también se encontraron diferencias significativas de M2 y M3 con respecto al testigo, siendo el valor presentado por M2 de 23.23 ± 1.49 el más alto, tal como puede observarse en el Cuadro 15. Tanto la disminución del brillo en la pasta como el aumento de enrojecimiento puede estar relacionada con el desarrollo de la reacción de Maillard, debido a que el oscurecimiento no enzimático relacionado con esta reacción se produce fácilmente durante el secado, especialmente cuando la humedad oscila entre 15 y 18 % (Islas-Rubio *et al.*, 2014). Existen otros factores que influyen en dicho pardeamiento tales como la A_w , pH, temperatura, azúcares, así como el tipo y proporción de compuestos amino (Paras y Hardeep, 2014).

Esto concuerda con un estudio hecho por Singh *et al.* (2003)^b, en galletas de harina de trigo, en el que los valores de L^* disminuyeron con la adición de harina de papa y maíz en concentraciones de 2, 4 y 6% respectivamente, estos autores

reportaron que galletas adicionadas con harina de papa mostraron mayor valor de L^* (59,8 a 65,32), que aquellas que contenían harina de maíz (58,2 a 59,5), no obstante ambos valores eran menores que el de la galleta control (67.72). Mientras que en valores de a^* y b^* hubo un incremento al agregar ambas harinas, siendo comparativamente más altos en galletas adicionadas con harina de maíz en todos los niveles de adición. El aumento de a^* y b^* puede ser debido al incremento en el enrojecimiento y amarilleo durante la cocción. La variación en las características de color entre las galletas hechas con harinas de maíz y papa puede atribuirse a las diferencias en el contenido de pigmento de sus harinas, lo que a su vez depende del origen biológico.

6.9.4 Análisis sensorial

El desarrollo y optimización de nuevos productos en la actualidad son necesarios para la industria de alimentos con la finalidad de satisfacer la demanda del mercado, en especial aquellos con propiedades nutricionales y funcionales mejoradas (Curiel *et al.*, 2014).

Pastas elaboradas con un 10 y 20% de sustitución con HCH (M1 y M2) respectivamente se cocinaron para posteriormente evaluar características sensoriales como apariencia y aceptabilidad total, dicha prueba fue aplicada a un panel de 30 jueces no entrenados. En la figura 17 se presentan los resultados obtenidos en este análisis, los cuales indican que hubo un 100% de aceptabilidad del nuevo producto, pero el 53.33% de los jueces prefirió la pasta M1. Cabe destacar que el porcentaje de diferencia fue mínimo, no obstante los panelistas mencionaron en sus observaciones que M2 tenía mejor firmeza sobre M1 pero un color no muy deseable. Un estudio desarrollado por Chong y Noor (2010), el análisis sensorial indicó que la firmeza de la pasta sustituida con 30% de harina de plátano verde fue significativamente más alta, y los panelistas mostraron preferencias por el sabor de fideos a los cuales se agregó esta harina, pero los resultados no fueron significativamente diferentes con respecto a la muestra

control, ya que, la incorporación de harina de plátano en la formulación no afectó el sabor del producto. Existen otros estudios tales como el realizado por Po-Hsien *et al.* (2012) en el cual fideos de harina de trigo mezclada con harina de ñame púrpura (*Dioscorea alata L.*) hasta en un 15%, mostraron mayor firmeza y rigidez que la muestra control. Sin embargo, no hubo ninguna diferencia significativa, puesto que los fideos que contenían entre el 5 y 15% de esta harina recibieron los mismos puntajes de aceptabilidad como el control. Wood (2009) también desarrollo una investigación en espaguetis sustituidos con harina de garbanzo, y la mayoría de los panelistas marcaron que las mezclas de 15 y 30% fueron igualmente aceptables así como el control, no mostrando diferencia estadística significativa y la única que podría encontrarse sería el color y sabor. Por otra parte, la mezcla de 30% mostró mayor firmeza que las mezclas de 0% y 15%.

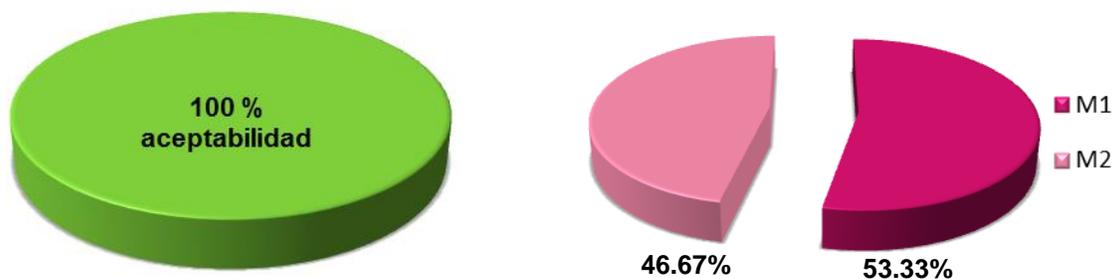


Figura 17. Resultados obtenidos en la prueba de análisis sensorial.

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial señalan que al sustituir a la ST con un 10% de HCH no influye en las características sensoriales de la pasta, logrando así un equilibrio entre calidad del producto y propiedad sensorial, es decir que la utilización de la HCH con una sustitución proporcional para la sémola hasta este porcentaje alcanzaría la calidad similar y aspecto agradable que los fideos comerciales. Debido a que en niveles de sustitución superior, reportan

puntuaciones negativas en cuanto a apariencia, sabor y textura (Petitot *et al.*, 2010).

6.10 Análisis químico proximal

En el Cuadro 16 se presentan los perfiles de la composición química proximal de la HCH, así como de la pasta testigo y una sustituida con 10% de HCH (M1), debido a que esta, fue la que presentó características físico-químicas, reológicas y sensoriales, similares al testigo. Puede observarse que la HCH mostró mayor contenido de ceniza y fibra, pero a su vez menor contenido de humedad, grasa, y proteínas con respecto a la ST. El contenido de cenizas fue de 6.21%, lo cual puede deberse a la apreciable cantidad de minerales presentes en raíces y tubérculos (Njintang *et al.*, 2008). Para el contenido de humedad se obtuvo un porcentaje de 7.70%, esto concuerda con estudios realizados por Yadav *et al.* (2014), en donde reporta que el contenido de humedad de diferentes harinas varió desde 6.0 hasta 8.5% lo cual es aceptable para el seguro almacenamiento de las mismas. Como puede observarse, los hidratos de carbono (72.95 %) son los componentes principales de las harinas, siendo el almidón el elemento natural más importante de este grupo, cabe mencionar que este contenido de carbohidratos difiere con lo reportado por Jiménez–Hernández *et al.* (2007), para almidón de chayotextle, esta diferencia en la composición de carbohidratos puede atribuirse principalmente a la maduración del tubérculo o a las diferencias en el contenido de otros constituyentes (Yadav *et al.*, 2014).

Cuadro 16. Análisis químico proximal de harina de chayotextle y pastas.

Tratamiento	Proteína (%)	Humedad (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos (%)
HCH	9.19	7.70	0	3.95	6.21	72.95
Testigo	15.98	8.95	0.43	0.55	0.61	73.48
M1	16.21	7.48	0.37	0.46	1.07	74.41

En el Cuadro 16 también es posible observar que M1 exhibe mayor contenido de proteína, cenizas y carbohidratos pero menor contenido de humedad, grasa y fibra., dicha composición depende directamente de la calidad de la harina. El contenido de ceniza de pasta M1 fue de 1.07%, superior a la del testigo (0.61%), dichos resultados concuerdan con lo reportado por Chong y Noor (2010) en fideos sustituidos con harina de plátano y menciona que el alto contenido de cenizas corresponde al mayor contenido de minerales en la harina de plátano. Para el contenido de proteína no se observó un incremento considerable en M1 (16.21%) con respecto al testigo (15.98%), lo que podría atribuirse a que la HCH contiene cantidades inferiores de este componente, cabe destacar que los cereales en general tienen un mayor contenido de dichos compuestos, que los tubérculos, lo cual es importante porque de esta manera la mezcla de HCH con ST podría aumentar el valor nutricional de los productos resultantes (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). En cuanto a carbohidratos se aprecia un ligero incremento en M1 (74.74%), comparado con el testigo (73.48%). En cuanto al contenido de humedad, grasa y fibra fue menor en M1 siendo de 7.48, 0.37 y 0.46% respectivamente, en comparación con el testigo, este efecto puede atribuirse a que al sustituir la ST, también disminuye el contenido de dichos componentes debido a que tanto la humedad (7.70%) como la grasa (0%) se hallan en menor cantidad en HCH.



Capítulo 7

Conclusiones

7. CONCLUSIONES

- Para la pre-gelatinización de las harinas, fueron aplicadas distintas condiciones de extrusión, siendo la fuente botánica uno de los principales factores que influyen en este proceso, ya que pudo observarse que los almidones de raíces gelatinizan de forma más rápido y a menores temperaturas que aquellos almidones provenientes de cereales.
- En las pruebas reológicas realizadas a las masas (TPA), se observó que, tanto la dureza como la adhesividad incrementan a medida que aumenta la concentración de HCH, mientras que la cohesividad y elasticidad solo aumentan en la primera adición y posteriormente se mantiene estable no importando el porcentaje de sustitución.
- La extensibilidad en masas (de harina nativa y pre-gelatinizada), así como en pastas disminuye al incrementar la concentración de HCH, sin embargo se obtiene un producto con mayor firmeza.
- El contenido de humedad y A_w , también fueron afectados, ya que ambos parámetros disminuyen al aumentar el porcentaje de HCH, excepto en el contenido de humedad de harinas nativas donde pudo apreciarse un ligero incremento.
- A pesar de que el contenido de AT incremento en las pastas, una gran cantidad fue de AD, lo cual indica que después del proceso de extrusión el almidón presente en el producto, se torna más susceptible a la acción enzimática.
- A partir de los resultados de color fue posible observar que a mayores concentraciones de HCH en ST, la mezcla se torna más oscura, afectando directamente el producto final. Mientras que los resultados del análisis

sensorial revelaron que la formulación óptima para la elaboración de pastas con bajo contenido de gluten es aquella sustituida con 10% de HCH, logrando así un equilibrio entre calidad nutritiva y sensorial.

- Como resultado de este estudio, es posible concluir que el uso de harina pre-gelatinizada como alternativa en la elaboración de productos con bajo o nulo contenido de gluten, es necesario para conferir al producto las características tecnológicas y comerciales, ya que la capacidad del gluten para formar una red de proteínas es la responsable de la calidad de cocción y propiedades de textura en pasta de trigo duro. También se observó que algunas propiedades del almidón tales como diferente grado de gelatinización y retrogradación tienen un papel central en la textura final del producto.
- Es importante conocer como la adición de otros ingredientes afecta a las características funcionales y reológicas de la masa, debido a que estos atributos son importantes para predecir el comportamiento de las masas durante la manufactura, así como la calidad del producto terminado.



Capítulo 8

Bibliografía

8. BIBLIOGRAFÍA

AACC. (1995). American Association of Cereal Chemist. Approved methods of the AACC (10th ed.), vol. 1. St.Paul, MN; The Association.

Álvarez, M.D., Fuentes, R., Olivares, M.D., Cuesta, F.J., Canet, W. (2014). Thermorheological characteristics of chickpea flour slurry as affected by moisture content. *Journal of Food Engineering*, 136, 9-18.

Anderssen, R.S., Bekesb, F., Grasb, P.W., Nikolovb, A., Wood, J.T. (2004). Wheat-flour dough extensibility as a discriminator for wheat varieties *Journal of Cereal Science*, 39, 195–203.

Anzaldúa, M.A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia, 2da ed. Zaragoza. España.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). Washington, D.C., USA.

Aravind, N., Sissons, M., Fellows, C.M., Blazek, J., Gilbert, E.P. (2013). Optimisation of resistant starch II and III levels in durum wheat pasta to reduce in vitro digestibility while maintaining processing and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 136, 1100–1109.

Aung, L.H., Ball, A., Kushad, M. (1989). Developmental and nutritional aspects of Chayote (*Sechium edule*, Cucurbitaceae). *Economic Botany*, 44(2), 157-164.

Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30, 40-47.

Badui, D.S. (2013). *Química de los Alimentos*. Editorial PEARSON, 5ta ed. Mexico, D.F. pp. 21-23.

Brennan, C.S., Kuri, V., Tudorica, C.M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86, 189–193.

Brunnschweiler, J. Mang, D. Farah, Z. Escher, F. Conde, P.B. (2006) Structure–texture relationships of fresh pastes prepared from different yam (*Dioscorea spp.*) varieties. *LWT*. 39, 762–769.

Charley, H. (2009). *Tecnología de Alimentos*. Editorial LIMUSA S.A de C.V. México D.F., pp. 189-196.

Chillo, S., Civica, V., Iannetti, M., Suriano, N., Mastromatteo, M., Del Nobile, M.A. (2009). Properties of quinoa and oat spaghetti loaded with carboxymethylcellulose sodium salt and pregelatinized starch as structuring agents. *Carbohydrate Polymers*, 78, 932-937.

Chong, L.C., Noor, A.A.A. (2010). Effects of banana flour and b-glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. *Food Chemistry*, 119, 34-40.

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Chiming, T.M. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23, 1527–1534.

Cruz, V.R. (2008). Estudio del análisis del perfil de textura (APT), extensibilidad y Adhesividad en masas y tortillas elaboradas con diferentes marcas comerciales de harina de trigo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Curiel, J.A., Coda, R., Limitone, A., Katina, K., Raulio, M., Giuliani, G., Rizzello, C.R., Gobbetti, M. (2014). Manufacture and characterization of pasta made with

wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria. *Journal of Cereal Science*, 59, 79-87.

Faramade, O.O., Titilope, K.S., Mueller, R. (2011). Dynamic rheological and physicochemical properties of annealed starches from two cultivars of cassava. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1916-1921.

Flores, M.G.A. (2008). Evaluación química, reológica y sensorial de pastas fortificadas con harina de *Jatropha curcas*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Garcia, N.L., Fama, L., Dufresne, A., Aranguren, M., Goyanes, S. (2009). A comparison between the physico-chemical properties of tuber and cereal starches. *Food Research International*, 42, 976–982.

Giménez, M.A., Drago, S.R., Greef, D.D., Gonzalez, R.J., Lobo, M.O., Samman, N.C. (2012). Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation. *Food Chemistry*, 134, 200–206.

Giménez, M.A., González, R.J., Wagner, J., Torres, R., Lobo, M.O., Samman, N.C. (2013). Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. *Food Chemistry*, 136, 538–545.

Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V., Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheatechickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1701-1709.

Güemes-Vera, N., González-Victoriano, L., Soto-Simental, S., Hernández-Chávez, J.F., Reyes-Santamaria, M.I. (2012). Mechanical properties of cottage cheese-fortified wheat dough and loaf bread. *J Food Sci Technol*, 1-6.

Hathorn, C.S., Biswas, M.A., Gichuhia, P.N., Bovell-Benjamin, A.C. (2008). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT*, 41, 803-815.

Heo, S., Lee, S.M., Shim, J.H., Yoo, S.H., Lee, S. (2013). Effect of dry and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles. *Journal of Food Engineering*, 116, 213–217.

Hongsheng, L., Fengwei, X., Long, Y., Ling, C., Lin, L. (2009). Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, 34, 1348–1368.

Hong-Zhuo, T., Zai-Gui, L., Bin, T. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42, 551–576.

Hoseney, C.R. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Editorial Acribia. Zaragoza, España, pp. 67-106.

Islas-Rubio, A.R., Calderón de la Barca, A.M., Cabrera-Chávez, F., Cota-Gastélum, A.G., Beta, T. (2014). Effect of semolina replacement with a raw:popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 57, 217-222.

Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., Donner, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. *Carbohydrate Polymers*, 69, 148–163.

Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., Weber, E. (2005). Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon*

rotundifolius) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International*, 38, 615–629.

Jiménez-Hernandez, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramirez, .E.G. (2007). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 679–686.

Kaur, L., Singh, J., Singh, N. (2005). Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. *Food Hydrocolloids*, 19, 839–849.

Kent N. L. (1987). *Tecnología de los Cereales, Introducción para Estudiantes de Ciencias de los Alimentos y Agricultura*. Ed. Acribia. 1era. ed. Zaragoza, España, pp. 133-142.

Kolawole, O.F., Mande, S., Olamide, S.F., Adebola, O.O., Kora, K.O. (2014). Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 39, 41-50.

Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A. (2013). Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture Design. *Journal of Cereal Science*, xxx, 1-7.

Mangalika, W.H.A., Takigawa, S., Matsuura, E.C., Yamauchi, H., Noda, T. (2009). Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chemistry*, 112, 98–103.

Marchetti, L., Cardós, M., Campaña, L., Ferrero, C. (2012). Effect of glutens of different quality on dough characteristics and breadmaking performance. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 224-231.

Mariotti, M., Lametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P., Lucisano, M. (2011). Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *Journal of Cereal Science*, 53, 319-327.

Marpalle, P., Sonawane, S.K., Subhash, A.S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT-Food Science and Technology*, 58, 614-619.

Marti, A., Ambrogina, P.M. (2013). What can play the role of gluten in gluten free pasta?. *Trends in Food Science & Technology*, xx, 1-9.

Marti, A., Seetharaman, K., Ambrogina, P.M. (2010). Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. *Journal of Cereal Science*, 52, 404 - 409.

Martínez, M., Oliete, B., Gómez, M. (2013). Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 57, 424-429.

Martínez, M.M., Rosell, C.M., Gómez, M. (2014). Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering*, 143, 74–79.

Medina, P.G. (2013). Valorización nutricional de moles de la región de Huichapan en el Estado de Hidalgo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Mishra, S. Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 557–566.

Neri, G.E.P. (2007). Estudio del efecto reológico en la elaboración de pastel de chocolate bajo en grasa y carbohidratos utilizando maltodextrina y celulosa como sustitutos. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Nindjin, C., Amania, G.N., Sindicc, M. (2011). Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from yam and cassava native starches and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 86, 1637-1645.

Njintang, Y.N., Mbofung, C.M.F., Balaam, F., Kitissou, P., Scher, J. (2008). Effect of Taro (*Colocasia esculenta*) Flour addition of the functional properties and alveographic Wheat Flour and Dough. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 273-279.

Odeku, O.A., Schmid, W., Picker-Freyer, K.M. (2008). Material and tablet properties of pregelatinized (thermally modified) Dioscorea starches. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 70, 357–371.

Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., Lindhauer, M.G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 681–686.

Ovando, M.M. (2008). Pasta adicionada con harina de plátano: digestibilidad y capacidad antioxidante. *Tesis de Maestría*. Instituto Politécnico Nacional.

Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., Bello-Pérez, L. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 113, 121–126.

Paras, S., Hardeep, S.G. (2014). Cookie making behavior of wheatebarley flour blends and effects on antioxidant properties. *LWT-Food Science and Technology*, 55, 301-307.

Pérez, R.K.A. (2012). Evaluación del efecto del aislado proteínico de semilla de guayaba (*Psidium guajava*) sobre las propiedades reológicas en pan de caja. *Tesis de maestría*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43, 634–641.

Po-Hsien, L., Chien-Chun, H., Ming-Yu, Y., Chiun-C.R., W. (2012). Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour. *Food Research International*, 47, 223-228.

Puppín, Z.R., Assunção, B.R.B., Gandolfi, L., Selva, G.J., Martins, M.F., Pratesi, R. (2012). Green Banana Pasta: An Alternative for Gluten-Free Diets. *Academy of Nutrition and Dietetics*, 112, 1068-1072.

Ramírez, R.K. (2012). Caracterización del almidón modificado a partir de Chayotextle (*Sechium edule Sw.*): formación de complejos amilosa-lípidos. *Tesis de licenciatura*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Rieder, A., Holtekjølen, A.K., Sahlstrøm, S., Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55, 44-52.

Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I.I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C.E., Delgado-Licon, E., Vivar-Vera, M.A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 673-680.

Serna, S.S.R.O. (2013). *Química almacenamiento e industrialización de los cereales*. Ed. A.G.T. editor, S.A. 5ta ed. México, D.F. pp. 3-28.

SIAP, (2014). Extraído en 2013. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>

Silva, E., Sagis, L.M.C., Linden, E., Scholten, E. (2013). Effect of matrix and particle type on rheological, textural and structural properties of broccoli pasta and noodles. *Journal of Food Engineering*, 119, 94-103.

SINAREFI (2014). Monografía del chayote. Disponible en línea: http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_chayote.html (Consulta: 3 de septiembre 2014)

Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O.J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. A review. *Food Hydrocolloids*, 21,1–22.

Singh, J., Singh, N., Sharmab, T.R., Saxena, S.K. (2003)^a. Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours. *Food Chemistry*, 83, 387–393.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh, S.N., Singh, G.B. (2003)^b. Review: Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219–231.

Subramony, N.M. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A Review. *Starch/Stärke*, 54, 559–592.

Susanna, S., Prabhasankar, P. (2013). A study on development of Gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. *LWT - Food Science and Technology*, 50, 613-621.

Tortoe, C., Johnson, T.P-N., Nyarko, A.I. (2009). Effects of osmo-dehydration, blanching and semi-ripening on the viscoelastic, water activity and colorimetry

properties of flour from three cultivars of plantain (Musa AAB). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 82-86.

Witczak, M., Juszczak, L., Ziobro, R., Korus, J. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 28, 353-360.

Wood, JA. (2009). Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49, 128-133.

Yadav, B.S., Yadav, R.B., Kumari, M., Khatkar, B.S. (2014). Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making. *LWT-Food Science and Technology*, 57, 352-358.

Yazynina, Y., Johansson, M., Jägerstad, M., Jastrebova, J. (2008). Low folate content in gluten-free cereal products and their main ingredients. *Food Chemistry*, 111, 236–242.

Zaidel, A.D.N., Chin, N.L., Rahman, A.R., Karim, R. (2008). Rheological characterisation of gluten from extensibility measurement. *Journal of Food Engineering*, 86, 549–556.

Zavareze, E.D.R., Guerra, D.A.R. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches. A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 317–328.



ANEXOS



La Universidad de Guanajuato y
La Universidad Autónoma de Nuevo León
otorgan la presente

CONSTANCIA

a

González Victoriano L., Romero Muñoz I.G., Moreno Velázquez A.L., Cruz Cuevas J.,
Hernández Uribe J.P., Soto Simental S. y Güemes Vera N.

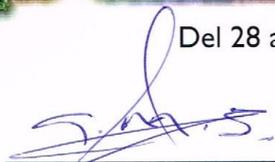
Por su participación con el trabajo

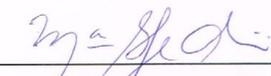
ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN MASAS DE SEMOLA DE TRIGO ADICIONADAS
CON HARINA DE CHAYO (SECIUM EDULE)

En el Ier. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias
en Procesamiento de Alimentos y el
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Del 28 al 30 de mayo de 2014 en la ciudad de Guanajuato, Gto.


Dr. Gerardo Martínez Soto
Director del Departamento de Alimentos
Universidad de Guanajuato


Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán
Jefe del Depto. de Alimentos
Universidad Autónoma de Nuevo León


Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez
Coordinadora del evento



La Universidad de Guanajuato y
La Universidad Autónoma de Nuevo León
otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Lizbeth González Victoriano

Por su asistencia al
Ier. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias
en Procesamiento de Alimentos y el
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Llevado a cabo del 28 al 30 de mayo de 2014 en
la ciudad de Guanajuato, Gto.

Dr. Gerardo Martínez Soto
Director del Departamento de Alimentos
Universidad de Guanajuato

Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán
Jefe del Depto. de Alimentos
Universidad Autónoma de Nuevo León

Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez
Coordinadora del evento

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Dirección General de Educación Superior Tecnológica

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE VENUSTIANO CARRANZA

Otorga el Presente

Reconocimiento

a

Ing. Lizbeth González Victoriano

Por su destacada participación en el “Semana de la Ingeniería en Industrias Alimentarias”; impartiendo la conferencia denominada “Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de pastas con bajo contenido de gluten elaboradas a partir de sémola de trigo, suplementada con harina de chayotextle (*Sechium edule*)”



MTRA. NAYELI CRUZ SALDAÑA
ENCARGADA DE LA DIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
de Venustiano Carranza
Superior de

venustiano Carranza
CLAVE 21EIT1005P
DIRECCIÓN GENERAL



Villa Lázaro Cárdenas, Venustiano Carranza, Puebla; a 19 de mayo de 2014



SEP
Instituto Tecnológico Superior de
Venustiano Carranza
Clave: 21EIT1005P
JEFEATURA DE DIVISIÓN
DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

MC. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ HERNÁNDEZ
JEFE DE DIVISIÓN DE
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE VENUSTIANO CARRANZA

