



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOPAN

CAMPUS TUXTEPEC

## Elaboración de una pasta con propiedades funcionales adicionada con harina de *Moringa oleífera*

PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**

Presenta

**Fernando Illana Romero**

Dra. Delia E. Páramo Calderón  
Asesor

Dr. Alejandro Aparicio Saguilán  
Co-Asesor

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax. Abril del 2015.

**EN MEMORIA DE MI ABUELA MANUELA CRIOLLO SOLANO †**

## DEDICATORIA

A Dios.

Sin la fortaleza, paciencia y consuelo que me brindas señor cada día, este trabajo jamás lo hubiese concluido. Gracias por poner en mi camino a tan buenas personas, solo tu las pudiste haber elegido, en cada una de ellas he visto un amigo y un maestro, al igual que tu eres un amigo, un maestro y un padre.

A mi Familia:

Dedico este trabajo a mi Madre, Concepción Rosa Romero Criollo, una gran mujer, que con su ejemplo, esfuerzo, amor y dedicación, me ayudo a salir adelante durante el transcurso de mi carrera, me apoyo en mis momentos de angustias, a darme cuenta que en la vida existen metas, y ella es para mí la fuerza que me impulsa a querer alcanzar todas las metas que la vida me ponga, gracias mamá por ser ese ejemplo de rectitud para con los demás, eres mi modelo a seguir. Te amo

A mi abuelo, Don Fernando Romero Guerrero, mi sostén y fuerza para seguir en este camino, gracias abuelo por apoyarme en esta aventura, te agradezco mucho que nunca me dejaras solo. Sin tí este logro no hubiese sido posible. Aquí está abuelo, todo valió la pena, ¡Lo logramos!

A mi Padre, José Ángel Illana Vidal, que a la distancia, me acompañó durante este proceso, el esfuerzo y sacrificio a valido la pena.

A mi hermano José Ángel Illana Romero, Gracias por tener siempre una palabra de aliento cuando veías que estaba a punto de darme por vencido, gracias por darme ese abrazo en los momentos que lo he necesitado, gracias por ser un hermano que siempre ha procurado cuidarme. Te agradezco mucho hermano. Eres el mejor hermano que dios me pudo dar, no te cambiaría por nada del mundo.

A mi gran familia; mis tíos Pepe, Eva y Maricela y mis primos; Fátima, Luis Manuel, Fran, Marifer y José Gabriel. Gracias por ser una familia tan peculiar y única. Los quiero mucho.

A mis amigos:

A Karla, amiga muchas gracias por ser parte de mi vida desde hace muchos años, como amiga siempre has tenido una palabra de apoyo y un consejo, has estado conmigo en momentos muy felices y también en momentos tristes, te agradezco mucho porque me has brindado una amistad sincera e incondicional.

A Luis, amigo gracias por apoyarme a distancia, a aconsejarme y no dejarme solo, muchas gracias por ser ese amigo con el que puedo contar en todo momento, gracias por darme a manos llenas esa amistad, una amistad basada en el amor de dios y que por ello ha crecido tan pronto y tan fuerte. Muchas gracias

Al PCCH.

Quiero agradecer a mis amigos del club PCCH (Jair, Luz del Carmen, Rafael, Conchis, Rubén) por siempre estar conmigo en mis momentos de crisis, de desesperación, a ustedes les toco ver mis alegrías y mis tristezas, si no fuera por ustedes, el trabajo en el laboratorio hubiese sido muy tedioso les agradezco mucho. Son un equipo que no cambiaría por nada. Los quiero mucho y siempre los llevo presentes en mi memoria.

Lucio, Gracias hermano moringa por mostrarme el camino de la dedición y del esfuerzo, que toda meta que uno se propone es alcanzable, y gracias por haberme ayudado mucho a pesar de la distancia.

A mis profesores:

Gracias Dra. Delia por estar junto a mí en este camino tan pesado, tan difícil y muchas veces incierto para mí, usted con su paciencia y consejos me ayudo a salir adelante durante todo el tiempo, gracias por ser para mí una amiga que me apoyo siempre y sé que ahora concluido este trabajo, seguirá haciéndolo. Usted ha sido para mí un ejemplo a seguir, a querer tener metas aún más altas, muchas gracias por tanto apoyo.

Dr. Alejandro, gracias por guiarme durante este proceso, por enseñarme muchas cosas, aún más valiosas que el conocimiento mismo, valores y principios inigualables muchas gracias por tanto apoyo.

Dr. Andrés, gracias por siempre confiar en mí, por aconsejarme durante el trabajo y en clases y a enseñarme que, queriendo con muy poco equipo, se pueden lograr grandes cosas.

Dra. Guadalupe, le agradezco el haberme hecho sentir bienvenido en la UNIDA, gracias por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

# CONTENIDO

	pag
LISTA DE TABLAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	V
ABSTRACT .....	1
RESUMEN.....	2
I. INTRODUCCIÓN .....	3
II. ANTECEDENTES.....	5
<b>2.1 Alimentos funcionales.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Definición de alimentos funcionales.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2 Clasificación de los alimentos funcionales.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 Importancia de los alimentos funcionales .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Pastas alimenticias .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1 Definición de pasta alimenticia.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Tipos de pastas alimenticias.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3 Composición química de las pastas alimenticias .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Materias primas para la elaboración de pastas alimenticias.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.1 Trigo.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2 Sémola de trigo.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.3 Harina de trigo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.4 Huevo.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.5 Aceite.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.6 Agua y sal.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.7 Elaboración de las pastas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Pastas enriquecidas .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5 <i>Moringa oleífera</i>.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.1 Generalidades de la planta .....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2 Características nutricionales de la planta .....</b>	<b>37</b>

2.5.3	Compuestos bioactivos de las hojas de <i>Moringa oleífera</i> .....	39
2.5.4	Usos y aplicaciones de moringa en productos alimenticios.....	42
2.6	Síntesis de antecedentes .....	44
III.	JUSTIFICACIÓN .....	45
IV.	HIPÓTESIS .....	45
V.	OBJETIVOS .....	46
5.1	Objetivo General .....	46
5.2	Objetivos Específicos.....	46
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	47
6.1	Materia prima .....	47
6.2	Reactivos y disolventes.....	47
6.3	Metodología.....	47
6.3.1	Obtención de la harina de <i>Moringa oleífera</i> .....	47
6.3.2	Proceso de elaboración de las pastas.....	49
6.4	Determinación de la composición químico proximal de las pastas .....	50
6.4.1	Preparación de las muestras de pastas crudas y cocidas.....	50
6.4.2	Contenido de humedad.....	50
6.4.3	Determinación de proteína .....	51
6.4.4	Determinación de lípidos .....	51
6.4.5	Determinación de cenizas.....	51
6.5	Determinación del contenido de fenoles totales y actividad antirradical .....	51
6.5.1	Obtención del extracto para determinación de CFT y AAr .....	52
6.5.2	Contenido de Fenoles Totales (CFT).....	53
6.5.3	Evaluación de la actividad antirradical por ensayo DPPH .....	53
6.6	Evaluación de la calidad culinaria de las pastas .....	54
6.6.1	Evaluación de las pastas crudas .....	54
6.6.2	Evaluación de las pastas cocidas.....	55
6.7	Determinación de la actividad de agua.....	56
6.8	Determinación del color.....	56
6.9	Análisis Estadístico .....	56
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
7.1	Cinética de secado de la pasta .....	57

<b>7.2 Composición química de las pastas</b> .....	59
<b>7.2.1 Composición química de las pastas cocidas</b> .....	62
<b>7.3 Propiedades fisicoquímicas de las pastas crudas</b> .....	63
<b>7.3.1 Actividad de agua (<math>a_w</math>)</b> .....	63
<b>7.3.2 Color</b> .....	64
<b>7.4 Evaluación de la calidad culinaria de las pastas</b> .....	66
<b>7.4.1 Tiempo de cocción</b> .....	66
<b>7.4.2 Pérdidas por cocción</b> .....	67
<b>7.5 Contenido de Fenoles Totales y Actividad Antirradical</b> .....	67
VIII. CONCLUSIONES.....	70
IX. RECOMENDACIONES.....	71
X. BIBLIOGRAFIA .....	72
XI. ANEXOS .....	80
ANEXO A .....	80
ANEXO B .....	81
ANEXO C.....	82
ANEXO D.....	83

## LISTA DE TABLAS

	Pag
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los alimentos funcionales. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Composición de las pastas alimenticias .....	13
<b>Tabla 4.</b> Especificaciones de la composición de una pasta alimenticia seca.....	14
<b>Tabla 5.</b> Clasificación del trigo en México con base a la funcionalidad del gluten. ....	16
<b>Tabla 6.</b> Composición del grano de trigo. ....	17
<b>Tabla 7.</b> Composición de las variedades de trigo panadero y cristalino. ....	18
<b>Tabla 8.</b> Composición química de la sémola de Trigo durum.....	19
<b>Tabla 9.</b> Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.....	22
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de las proteínas del trigo con base en su funcionalidad.....	23
<b>Tabla 11.</b> Diferentes harinas usadas para producción de pasta. ....	24
<b>Tabla 12.</b> Composición física del huevo.....	26
<b>Tabla 13.</b> Composición química del huevo .....	26
<b>Tabla 14.</b> Ácidos grasos presentes en el aceite de oliva.....	28
<b>Tabla 15.</b> Condiciones de secado para pastas. ....	32
<b>Tabla 16.</b> Clasificación taxonómica de moringa.....	36
<b>Tabla 17.</b> Contenido nutricional de las hojas de Moringa oleífera .....	38
<b>Tabla 18.</b> Contenido de aminoácidos de las hojas de Moringa oleífera .....	39
<b>Tabla 19.</b> Principales compuestos fenólicos identificados en las hojas de Moringa oleífera. .....	41
<b>Tabla 20.</b> Formulación propuesta para la pasta adicionada con harina de moringa .....	49
<b>Tabla 21.</b> Condiciones empleadas durante el proceso de secado de la pasta control.....	58
<b>Tabla 22.</b> Composición química de las pastas crudas adicionadas con harina de Moringa oleífera .....	60
<b>Tabla 23.</b> Composición química de las pastas cocidas adicionadas con harina de Moringa oleífera .....	62
<b>Tabla 24.</b> Actividad de agua de la pasta control pastas adicionadas con harina de moringa .....	63
<b>Tabla 25.</b> Color de la pasta control y de las pastas adicionadas con harina de moringa ..	64
<b>Tabla 26.</b> Puebras de cocimiento de la pasta. ....	66
<b>Tabla 27.</b> Contenido de compuestos fenólicos en pastas crudas y cocidas. ....	68
<b>Tabla 28.</b> Contenido de antioxidantes en pastas crudas y cocidas. ....	69
<b>Tabla 29.</b> Ingredientes de las pastas adicionadas con moringa.....	83

## LISTA DE FIGURAS

	Pag
<b>Figura 1.</b> Formas que presentan algunas pastas largas .....	12
<b>Figura 2.</b> Formas que presentan algunas pastas cortas .....	12
<b>Figura 3.</b> Componentes del grano de trigo. ....	18
<b>Figura 4.</b> Componentes del huevo.....	25
<b>Figura 5.</b> Árbol de Moringa oleifera. ....	36
<b>Figura 6.</b> Diagrama de la metodología general del presente trabajo .....	48
<b>Figura 7.</b> Cinética de secado de la pasta (t=2.5 h, T= 60°C, flujo de aire 1 m/s; t=2.5 h, T= 80°C, flujo de aire 1 m/s).....	57
<b>Figura 8.</b> Cinética de secado de la pasta (40°C flujo de aire 1 m/s) .....	58
<b>Figura 9.</b> Curva de calibración de ácido galico.....	80
<b>Figura 10.</b> Curva de calibración Trolox-DPPH.....	81

## ABSTRACT

The *Moringa oleifera* tree has nutraceutical properties derived from its content of nutrients and bioactive compounds. From its leaves, it is able to obtain flour to be used in the elaboration of value-added products such as bread, crackers and pasta, among others. Pasta made from semolina constitutes a massive consuming food, however, it has low biological value of protein due to deficiency in lysine. To solve this deficiency, some of the pasta components can be replaced by flour from different fuller sources. The mixture of semolina and moringa flour is an alternative that allows the development of a pasta with better nutritional characteristics, as moringa leaves contain all the essential amino acids and a high content of minerals, vitamins and phenolic compounds with antioxidant properties, thus promoting consumption of healthier foods. The aim of this study was to develop lasagna pasta type with moringa flour added in different levels of semolina and wheat flour substitution and to evaluate the chemical and physical properties of the products developed. The pasta was prepared by maintaining a 70/30 proportion of semolina / hard wheat flour adding moringa flour in different ratios (1, 3, 4, 7%). The dough was fed to an extruder and the product was dewatered on a dryer tray at 40 ° C with air velocity of 1 m / s. Moisture, protein, fat and ash (AOAC) were determined and the content of total phenols (Folin-Ciocalteu), antiradical activity (DPPH), water activity, color and cooking quality was evaluated. With the addition of moringa flour in formulating, an increase in protein content was aimed (5.391-9.629% for uncooked pasta and 2.533-7.188% for cooked pasta), total phenols presented significant values (0.118-0.293 mg ET/g b.s was achieved for uncooked pasta and 0.046-0.190 mg ET/g b.s for cooked pasta) and antiradical activity (1.594-11.152 for uncooked pasta and 1.079-10.507 for pasta cooked pasta) accompanied by lipid lowering. The moisture content of the pasta was within the reference values reported and the cooking quality of the enriched pasta remained within acceptable ranges for its preparation. Replacing semolina / wheat flour by moringa flour yielded a paste of better nutritional quality and characteristics of a functional food.

## RESUMEN

El árbol de *Moringa oleífera* posee propiedades nutraceuticas derivadas de su contenido en nutrientes y compuestos bioactivos. A partir de sus hojas, se puede obtener harina para utilizarla en la elaboraci3n de productos de valor agregado como pan, galletas, pastas, entre otros. Las pastas elaboradas con s3mola de trigo constituyen un alimento de consumo masivo, sin embargo, poseen un bajo valor biol3gico de prote3na debido a la deficiencia en lisina. Para solucionar esta deficiencia, se puede sustituir parte de los componentes de la pasta por harina de diferentes fuentes m3s completas. La mezcla de s3mola con harina de moringa constituye una alternativa que permite desarrollar una pasta alimenticia con mejores caracter3sticas nutricionales, ya que las hojas de moringa contienen todos los amino3cidos esenciales y un contenido elevado de minerales, vitaminas y compuestos fen3licos con propiedades antioxidantes, promoviendo as3 el consumo de alimentos m3s saludables. El objetivo del presente trabajo fue elaborar pasta tipo lasa3a adicionada con harina de moringa a diferentes niveles de sustituci3n de s3mola y harina de trigo y evaluar las propiedades qu3micas y f3sicas de los productos desarrollados. La pasta se elabor3 manteniendo una proporci3n 70/30 de s3mola/harina de trigo duro adicionando harina de moringa en diferentes proporciones (1, 3, 4, 7 %). La masa se aliment3 a un extrusor y el producto se deshidrat3 en un secador de bandejas a 40°C con velocidad de aire de 1 m/s. Se determin3 humedad, prote3na, l3pidos y cenizas (AOAC) y se evalu3 el contenido de fenoles totales (Folin-Ciocalteu), actividad antirradical (DPPH), actividad de agua, color y calidad culinaria. Con la incorporaci3n de harina de moringa en la formulaci3n se logr3 un incremento del contenido de prote3na (5.391-9.629% para pastas crudas y para pastas cocidas de 2.533-7.188%), fenoles totales presento valores significativos (0.118-0.293 mg ET/g b.s. para pastas crudas y 0.046-0.190 mg ET/g b.s. para las pastas cocidas) y actividad antirradical (1.594-11.152 para pastas crudas y 1.079-10.507 para pastas cocidas) acompa3ado de la disminuci3n de l3pidos. El contenido de humedad de las pastas se ubic3 dentro de los valores de referencia reportados y la calidad de cocci3n de las pastas enriquecidas se mantuvo dentro de los rangos adecuados para su preparaci3n. La sustituci3n de s3mola/harina de trigo por harina de moringa permiti3 obtener una pasta de mejor calidad nutricional y con caracter3sticas de un alimento funcional.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevos productos constituye uno de los principales desafíos de la Industria de Alimentos. En los últimos años, la tendencia mundial en la alimentación señala el interés por parte de los consumidores hacia determinados alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a la salud. Este tipo de productos suelen denominarse comúnmente “alimentos funcionales” y hacen referencia a aquellos alimentos capaces de proporcionar una ventaja fisiológica adicional más allá de los requerimientos nutricionales básicos (Health Canada, 1998).

En México, el panorama nutricional es desalentador, pues no solo se han registrado problemas de deficiencia alimentaria y desnutrición, sino que además, ocupa uno de los primeros lugares del mundo en padecer diversas enfermedades crónico-degenerativas (principalmente obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, entre otras) que parecen estar asociadas a una alimentación inadecuada. Como consecuencia, en la actualidad existe un gran interés por desarrollar nuevos alimentos con mejores características nutricionales (o incluso, mejorar los productos alimenticios ya existentes) y que sean capaces de aportar beneficios adicionales para la prevención y tratamiento de enfermedades. Lo anterior ha impulsado a la Industria de Alimentos a buscar estrategias para desarrollar nuevos productos que adicionen como ingredientes compuestos bioactivos que permitan obtener un producto final con propiedades funcionales. De acuerdo con lo anterior, una amplia gama de productos han sido desarrollados, incluyendo botanas, tortillas, galletas, cereales para desayuno, productos de panificación y pastas.

La pasta de sémola es un alimento de consumo masivo, sin embargo, el valor biológico de su proteína es bajo, debido a la deficiencia de lisina en la proteína del trigo (Astaiza *et al.*, 2010). Es un alimento que posee varias ventajas, pues aporta energía a la dieta y tiene amplia aceptación por parte del consumidor, además de ser considerado un alimento funcional por su bajo aporte de grasa, sodio y baja respuesta glicémica (Mora, 2012; Araya *et al.*, 2003).

Para la elaboración de las pastas, el trigo es el cereal que se utiliza con mayor frecuencia. Sus proteínas tienen la capacidad de interactuar entre ellas y con otros componentes como los lípidos, formando complejos lipoproteicos viscoelásticos (gluten), que contribuyen al desarrollo de la masa y previenen la disgregación de la pasta durante la cocción en agua caliente (Feillet, 1984). A partir de la molienda del endospermo del grano de trigo se elabora la semolina *durum*, que es un producto granular de color amarillo oscuro y estructura vítrea que constituye la materia prima ideal para la fabricación de pastas (Hoseney, 1991).

Las características de las pastas alimenticias dependen de la calidad de las harinas empleadas y del contenido de agua, así como del proceso utilizado, el secado y de la conservación.

Desde un punto de vista tecnológico, la sustitución de la sémola por otros ingredientes, representa una disminución en el contenido de gluten y por ende una pasta de calidad inferior. Sin embargo, en diversos trabajos ha sido posible sustituir la sémola de trigo *durum* por harinas con propiedades nutricionales como frijol, quínoa, amaranto, zanahoria y chícharo logrando una mejora en la calidad de las pastas (Granito *et al.*, 2003; Acosta, 2007; Granito y Ascanio, 2009; Astaiza *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2011).

Muchos de los alimentos funcionales tradicionales se han desarrollado mediante la combinación de los alimentos con productos naturales que han demostrado ser eficaces en proporcionar beneficios a la salud, además de prevenir y controlar algunas enfermedades. Dentro de este contexto, se ha comenzado a explorar el uso potencial de la especie *Moringa oleífera* como ingrediente nutracéutico, incorporándolo a alimentos existentes con el fin de mejorar su calidad nutricional.

La harina de *Moringa oleífera* es obtenida a partir de hojas secas de la planta que son sometidas a un proceso de molienda. Esta harina ha sido utilizada para la fortificación de alimentos como pan, salsas, jugos y leche (Lockett *et al.*, 2000), debido a que sus hojas son fuente de nutrientes y compuestos bioactivos (Pinheiro *et al.*, 2008).

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se propone obtener harina de *Moringa oleífera* a partir de las hojas de la planta para añadirla a la sémola de trigo con la finalidad de obtener una pasta tipo lasaña con mayor calidad nutricional en comparación al producto tradicional, evaluando su composición nutricional, contenido antioxidante y propiedades físicas, así como su calidad culinaria.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Alimentos funcionales

La primera evidencia escrita sobre la existencia de alimentos funcionales, fue reportada en China en el año 1000 a.C. En Asia existe una larga tradición de atribuir propiedades curativas o terapéuticas a los alimentos y hierbas, pero este tipo de creencias se han considerado anecdóticas y basadas en tradiciones populares. El término alimento medicinal fue usado con frecuencia en la literatura de la Dinastía Song en el año 1000, ya en nuestra era.

En Occidente tampoco es un concepto nuevo la creencia de que el alimento está íntimamente ligado a una salud óptima. De hecho, Hipócrates, médico griego del siglo VI a.C, dejó en su legado una frase mítica, “Que el alimento sea tu medicina y la medicina tu alimento”. Situados en el siglo XXI, esta filosofía del “alimento como medicina” es la base del paradigma de los alimentos funcionales.

Las tendencias mundiales en la actualidad por parte de los consumidores con respecto a la alimentación, es consumir alimentos que además de aportar un contenido energético y nutricional, den a los consumidores un beneficio a la salud.

Es por ello que se consideran alimentos funcionales a aquellos alimentos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar. Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades (Guía de alimentos funcionales).

Los alimentos funcionales deben ser consumidos dentro de una dieta sana y equilibrada y en las mismas cantidades en las que habitualmente se consumen el resto de los alimentos. Pueden formar parte de la dieta de cualquier persona. Pero además, están especialmente indicados en aquellos grupos de población con necesidades nutricionales especiales (embarazadas y niños), estados carenciales, intolerancias a determinados alimentos, colectivos con riesgos de determinadas enfermedades (cardiovasculares, gastrointestinales, osteoporosis, diabetes, etc.) y personas mayores (Aranceta & Serra, 2003).

### 2.1.1 Definición de alimentos funcionales

No existe un acuerdo para definir en forma precisa lo que son los “alimentos funcionales”. Muchos consideran que se trata de un concepto aún en desarrollo y que bien podría considerárseles como productos intermedios entre los tradicionales y la medicina. Pero podrían definirse como “cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contienen componentes adicionales que favorecen la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona” (Vasconcellos, 1998).

The International Life Science Institute (ILSI) establece que se puede considerar que un alimento es funcional si se logra demostrar satisfactoriamente que posee un efecto benéfico sobre una o varias funciones específicas en el organismo, que mejora el estado de salud y de bienestar, o bien que reduce el riesgo de una enfermedad (Chasquibol *et al.*, 2003).

Algunos ejemplos de alimentos funcionales que han sido desarrollados incluyen alimentos que contienen determinados minerales, vitaminas, ácidos grasos o fibra alimenticia, como los cereales, pan o algunos productos lácteos. A otros alimentos se les han añadido compuestos biológicamente activos como fitoquímicos u otros antioxidantes, y los probióticos, que tienen cultivos vivos de microorganismos beneficiosos. Es decir, son alimentos elaborados por la adición de nutracéuticos y de otros ingredientes o por la eliminación de alguno dañino, como ocurre en la leche deslactosada, los panes sin gluten, los reducidos en grasa, colesterol, azúcares y sodio, que ayudan a prevenir enfermedades crónicas degenerativas. En el caso de alimentos añadidos con componentes bioactivos, debe considerarse su biodisponibilidad.

Aranceta (2010) propuso una clasificación para que un alimento sea considerado funcional el cual debe contar con las siguientes características:

- Tienen que ser alimentos que se manipulen para conseguir algún beneficio extra, por eliminación, reducción, o adición de algún componente.
- Los alimentos funcionales son básicamente alimentos “clásicos” pero llevan incorporado nuevos componentes alimentarios o no alimentarios, siempre que tengan un claro efecto beneficioso.
- La base de alimentación, es una alimentación completa y variada. Los alimentos funcionales complementan la función nutritiva y la prevención de ciertas enfermedades. Hay que tener en cuenta que las cantidades deben ser las normalmente consumidas en la dieta.

- La presentación de un alimento funcional, tiene que ser como la de un alimento, sin modificar sus características. Dentro de los alimentos funcionales, podemos encontrar diversos términos para definir algunas características o funciones que aportará el alimento a la salud.

## 2.1.2 Clasificación de los alimentos funcionales

Los alimentos funcionales se clasifican en diversos grupos, en la Tabla 1 se muestra la clasificación de acuerdo al tipo de alimento.

**Tabla 1.** Clasificación de los alimentos funcionales.

Descripción	Características
Alimento funcional	Tiene apariencia similar a la de un alimento convencional, se consume como parte de una dieta normal y además de su función nutritiva básica, se ha demostrado que presenta propiedades fisiológicas beneficiosas y/o reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas
Producto nutracéutico	Producto elaborado a partir de un alimento, pero se vende en forma de píldoras, polvos y otras presentaciones farmacéuticas no asociadas generalmente con los alimentos, y que ha demostrado tener propiedades fisiológicas beneficiosas o protege contra enfermedades crónicas
Alicamento	El término "alicamento" no es sólo un concepto ya que se refiere a productos mitad alimento mitad medicamento. El problema es que no es un término único aceptado universalmente. Hay muy pocas publicaciones con carácter científico sobre los alicamentos y menos aun sobre las posibles interacciones con los medicamentos que determinados sectores de la población consumen como por ejemplo, los niños, las embarazadas, ancianos, etc.
Novel Foods	Son alimentos que de algún modo proceden de un organismo modificado genéticamente (alimentos transgénicos) o que poseen una estructura molecular nueva o derivan de una fuente alimentaria inusual.

Fuente: Adaptado de Gardaval *et al.*, 2005.

### 2.1.3 Importancia de los alimentos funcionales

Los alimentos funcionales tienen como objetivo modificar o potenciar las “propiedades saludables” de alguno de sus componentes.

Según el concepto tradicional de nutrición, la principal función de la dieta es aportar los nutrientes necesarios para el buen funcionamiento del organismo. Este concepto de “nutrición adecuada” se está sustituyendo por el concepto de “nutrición óptima”, que se trata de aquella que además, contempla la posibilidad de que algunos alimentos mejoren nuestra salud y contribuyan a prevenir determinadas enfermedades (Cadaval *et al.*, 2005).

Una alimentación sana es fundamental para conseguir el crecimiento y desarrollo intelectual óptimo en niños y adolescentes. De igual manera, una dieta adecuada a lo largo de la vida asegura la energía suficiente para que una persona tenga una actividad física vigorosa y un aprovechamiento óptimo de sus capacidades cognitivas. Por lo tanto, la alimentación es un factor importante en la promoción y mantenimiento de un buen estado de salud durante todo el ciclo de vida (Martínez y Villezca, 2003). La definición de salud ya no está restringida a la ausencia de enfermedades, sino que incluye el buen estado físico, mental y psicológico.

Precisamente por este planteamiento aparecen los alimentos funcionales, cuyo desarrollo se basa en la relación entre dieta y salud. Se conocen muchas enfermedades crónicas que están relacionadas directamente con la nutrición y muchas de ellas podrían prevenirse con una dieta adecuada; un ejemplo de esta relación dieta-salud son las enfermedades cardiovasculares, ya que más del 30% de los casos se atribuyen a hábitos de alimentación inadecuados.

Se ha demostrado que existe una gran variedad de microcomponentes de la dieta que pueden influir en la capacidad de un individuo para alcanzar todo su potencial genético y minimizar el riesgo de enfermar. La respuesta del organismo ante el consumo de un alimento funcional depende de diversos factores incluyendo los genéticos, el estado fisiológico y la composición de la dieta completa.

En México, el panorama nutricional es desalentador, pues no solo se han registrado problemas de deficiencia alimentaria y desnutrición, sino que además, ocupa uno de los primeros lugares en el mundo que padece diversas enfermedades crónicas degenerativas (ECD) que parecen estar asociadas a una alimentación inadecuada. Los resultados de la Encuesta Nacional en Salud y Nutrición elaborada por el Instituto Nacional de Salud Pública en el año 2012, indicaron que en nuestro país, 14 de cada 100 niños menores de 5 años padecen desnutrición crónica, un problema que afecta a 7 millones de personas en pobreza extrema alimentaria. Mientras, el 70 %

de la población adulta es obesa y padece enfermedades asociadas que afectan a la mayoría de la población como resultado de la carencia de una dieta adecuada. Las ECD son uno de los principales problemas de salud pública, ya sea en términos de costo directo para la sociedad y el gobierno, o en años productivos perdidos por discapacidad (FAO/WHO, 2003).

Como consecuencia, en la actualidad existe un gran interés por desarrollar nuevos alimentos con mejores características nutricionales, o inclusive, mejorar los productos alimenticios ya existentes y que sean capaces de aportar beneficios adicionales para la prevención y tratamiento de enfermedades. Lo anterior ha impulsado a la Industria de Alimentos a buscar estrategias para desarrollar nuevos productos que adicionen como ingredientes compuestos bioactivos, antioxidantes naturales, aceites esenciales, ácidos grasos, fibra dietética, almidón resistente, y otros compuestos que permitan obtener un producto final con características de un alimento funcional. Se han desarrollado botanas, tortillas, galletas, cereales para desayuno, productos de panificación y pastas.

En el diseño de alimentos funcionales hay que tener en consideración que estos productos pueden integrarse a la alimentación cotidiana con los beneficios documentados y demostrados de los mismos, sin embargo, por ningún motivo deben considerarse “vacunas” que remediarán las enfermedades, y que una dieta sana y equilibrada puede ser insustituible para conseguir efectos beneficiosos sobre la salud.

Trabajos científicos han avalado a constituyentes de los alimentos como ingredientes de interés para la salud: componentes derivados de las proteínas, lípidos, oligosacáridos, minerales, vitaminas y antioxidantes (FECYT, 2005).

Entre las posibilidades de elaboración de alimentos funcionales figuran:

- Incorporación a un alimento convencional de ingredientes con actividad biológica, pero sin función terapéutica sino la de prevención.
- Eliminación de constituyentes no deseados, por ejemplo. proteínas alergénicas.
- Sustitución de componentes de un alimento con efectos negativos por otros con efectos beneficiosos.
- Incrementar la concentración de un componente natural con efectos beneficiosos en la salud, por ejemplo un micronutriente.
- Aumentar la biodisponibilidad o estabilidad de un componente con efectos beneficiosos.

El mercado de los alimentos funcionales ha crecido considerablemente gracias a los avances científicos y tecnológicos, particularmente en el estudio y desarrollo de ingredientes funcionales, promoviendo el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Así mismo los cambios

en la dieta, estilo de vida, conciencia e interés de los consumidores en su salud y bienestar a través de los alimentos han contribuido en el fortalecimiento de este sector.

Los alimentos funcionales se categorizan tanto por el tipo de alimento como por el beneficio a la salud que promueven. Las bebidas no alcohólicas y los productos lácteos constituyen el 60% del mercado de alimentos funcionales, encontrando en estas categorías bebidas enriquecidas con vitaminas, minerales o compuestos antioxidantes, además de yogurts con bacterias benéficas y margarinas con fitoesteroles. Después del sector de bebidas y productos lácteos se encuentra la categoría de cereales y productos de panificación, siendo una de las áreas con mayor potencial de desarrollo. En esta categoría encontramos productos de grano entero que promueven la salud digestiva, o los fortificados con minerales como el calcio para la salud ósea, y los productos con propiedades hipocolesterolémicas a base de soya o avena. Otro sector muy importante son los alimentos energéticos, cuyo auge se debe a que el consumidor puede sentir sus atributos con mayor rapidez. También son importantes los productos para la salud intestinal, de huesos y del corazón, dirigidos principalmente a consumidores mayores. Dentro de las áreas con potencial para el desarrollo de nuevos productos destacan los orientados al manejo del peso, mejoramiento de las facultades mentales, salud infantil, así como los promotores de la salud y la belleza de la piel.

## **2.2 Pastas alimenticias**

### **2.2.1 Definición de pasta alimenticia**

El Código Alimentario designa con el nombre de pastas alimenticias a los productos obtenidos por desecación de una masa no fermentada elaborada con sémolas o harinas procedentes de trigo duro, trigo semiduro o trigo blando o sus mezclas con agua potable.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, la pasta es un producto obtenido por el amasado mecánico de sémola, semolina, harinas o cualquier combinación de éstas procedentes de trigos con agua y otros ingredientes opcionales permitidos, moldeado, laminado o extruido y sometido o no a un proceso térmico de desecación (NOM-247-SSA1-2008).

En términos generales, la pasta es un alimento nutritivo compuesto por carbohidratos complejos y bajo contenido de grasa; es de bajo costo, de fácil preparación y versátil, que puede ser consumido por todos los sectores de la población (Kruger *et al.*, 1996).

## 2.2.2 Tipos de pastas alimenticias

De manera general, las pastas alimenticias se pueden clasificar de acuerdo a su composición (Feillet, 1998) y su forma (Escamilla, 2001; Salazar, 2000).

a) De acuerdo a su composición, las pastas se clasifican en:

**Tipo I:** Pasta amarilla o blanca de harina de trigo y semolina para sopa. Es aquella que se elabora a partir de la desecación de figuras obtenidas del amasado de semolina o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales y aditivos permitidos.

**Tipo II:** Pasta de harina de trigo y semolina con huevo e ingredientes adicionales para sopa. Esta variedad de pasta cumple con lo señalado para las pastas del Tipo I y en su composición debe tener como mínimo 4.2 % de sólidos de huevo entero o yema de huevo, o bien 16.8 % de huevo entero líquido o yema de huevo líquida y los aditivos permitidos exceptuando los colorantes artificiales y naturales.

**Tipo III:** Pasta de harina de trigo y semolina con vegetales (indicando cuales) para sopa. Esta variedad cumple con lo señalado para el Tipo I y contiene vegetales (tales como zanahoria, tomate, espinacas o betabel) en una cantidad no menor de 3 % de vegetal deshidratado en el producto terminado, ingredientes opcionales y aditivos permitidos, exceptuando colorantes artificiales.

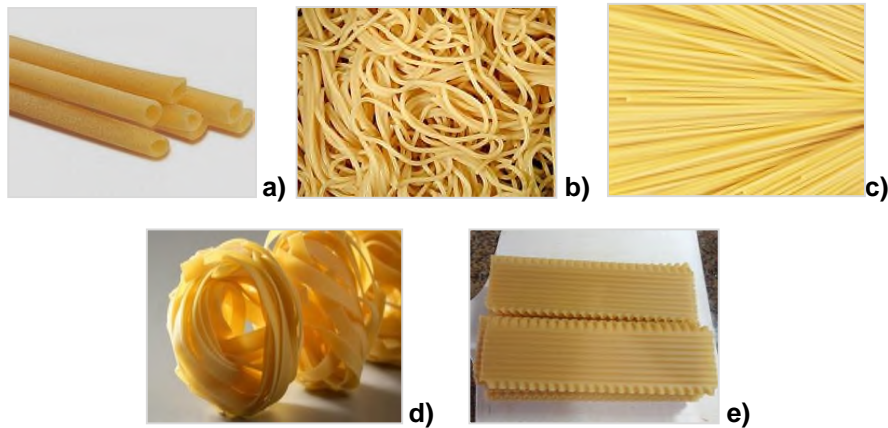
b) De acuerdo a su forma, las pastas pueden ser largas, cortas o de fantasía, como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan.

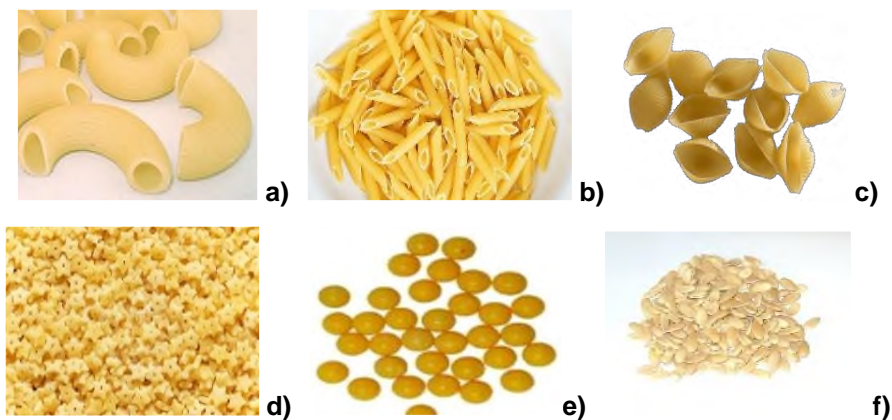
<b>Largas</b>	<b>Huecas</b>	Macarrón
	<b>Compactas</b>	Fideo
		Espagueti Tallarín
		Lasaña
<b>Cortas</b>	<b>Huecas</b>	Codo
		Plumilla
		Concha
	<b>Compactas</b>	Estrella
		Munición
		Semilla de melón
		Alfabeto, etc,
<b>Fantasía</b>	Hongo, almeja, corbata	

Fuente: Salazar, 2000.

En las Figuras 1 y 2 se muestran algunas formas que presentan las pastas largas y cortas.



**Figura 1.** Formas que presentan algunas pastas largas: a) macarrón, b) fideos, c) espagueti, d) tallarín, y e) lasaña.



**Figura 2.** Formas que presentan algunas pastas cortas: a) codo, b) plumilla, c) concha, d) estrella, e) munición y f) semilla de melón.

Existe otra clasificación propuesta por Gil (2010):

- 1) **Pastas alimenticias simples o pastas alimenticias.** Están elaboradas con sémola de trigo duro, semiduro, blando o sus mezclas. Cuando las pastas son elaboradas exclusivamente con sémola de trigo duro se clasifican como de “calidad superior”.
- 2) **Pastas alimenticias compuestas.** Son aquellas que durante su elaboración incorporan alguna de las siguientes sustancias: gluten, soya, huevos, leche, hortalizas, verduras y leguminosas naturales (desechadas o conservadas), jugos y extractos.

- 3) **Pastas alimenticias rellenas.** Son pastas simples o compuestas que contienen en su interior un preparado elaborado con todas o algunas de las siguientes sustancias: carne, grasa, hortalizas, productos de pesca, verduras, huevos y agentes aromáticos.
- 4) **Pastas alimenticias frescas.** Dentro de este grupo se incluye cualquiera de las anteriores sin someterlas a proceso de desecación.

### 2.2.3 Composición química de las pastas alimenticias

Las pastas alimenticias están compuestas en su mayoría por hidratos de carbono, proteínas y muy poco contenido de grasa.

La composición de las pastas alimenticias y las especificaciones que deben cumplir estos productos se muestran en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

**Tabla 3.** Composición de las pastas alimenticias

Agua (g)	12.7
Proteína (g)	10.2
Grasa (g)	0.4
Carbohidratos (g)	76.2
Cenizas (g)	0.5
Calcio (mg)	21.0
Fósforo (mg)	52.0
Hierro (mg)	1.0
Tiamina (mg)	0.15
Riboflavina (mg)	0.03
Niacina (mg)	0.7

Fuente: Pacheco-Delahaye, 2001.

En cuanto a su valor nutricional, las pastas aportan cantidades significativas de carbohidratos complejos (digestibles y no digestibles), proteínas y representan una buena fuente de vitaminas del complejo B (ácido fólico, niacina, riboflavina y tiamina) y hierro, sin embargo no constituyen una fuente especialmente rica en minerales (sodio, por ejemplo) ni en proteína de calidad (aminoácidos) y tienen un contenido bajo en fibra alimentaria (Douglass y Matthews, 1982; Kill y Turnbull, 2004).

**Tabla 4.** Especificaciones de la composición de una pasta alimenticia seca.

<b>Requisitos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Humedad (%)	--	13.0
Ceniza (%)	--	1.2
Proteína (% N*5.90)	10.5	--
Almidones (%)	--	75
Acidez (% ácido láctico)	--	0.45

Fuente: NTC 1055

Para obtener una pasta de muy alta calidad, se debe tener cuidado al momento de seleccionar correctamente las materias primas, ingredientes y aditivos para la elaboración del producto y finalmente los requerimiento de empaque.

### **2.3 Materias primas para la elaboración de pastas alimenticias**

Las pastas son alimentos elaborados a base de harina de trigo y/o sémola mezclada con agua y a la cual se le puede adicionar huevo, sal u otros ingredientes, conformando un producto que se cuece en agua hirviendo. Los ingredientes esenciales de la pasta son semolina (harina) y agua, el resto de los ingredientes son añadidos de manera opcional y pueden ser de mayor o menor importancia.

La harina semolina es obtenida a partir del trigo *durum* y produce una masa fuerte y elástica debido a los niveles elevados de gluten. La masa producida es más fácil de moldear en diferentes formas y puede hacerse pasar a través de una máquina eléctrica para pasta.

De acuerdo con lo anterior, es importante comprender claramente el papel específico de las diferentes materias primas en la elaboración de las pastas.

#### **2.3.1 Trigo**

Desde el inicio de la civilización, el trigo ha sido uno de los cereales más importantes en la alimentación humana. En general no se consume directamente; el trigo generalmente es molido como harina para su utilización. Un gran porcentaje de la producción total de trigo es utilizada para el consumo humano en la elaboración de alimentos, sobre todo en la industria de la panificación, así como en la fabricación de pastas y galletas, otra parte es destinada a alimentación animal y el

restante se utiliza en la industria o como simiente (semilla); también se utiliza para la preparación de aditivos para la cerveza y otros licores, y hasta en la producción de combustibles.

El trigo es uno de los principales cultivos en México y en el mundo. En nuestro país es el segundo cereal más consumido después del maíz (ASERCA, 2003).

En México aproximadamente el 95% de la cosecha de trigo se obtiene durante las estaciones otoño-invierno. En este periodo, se siembra de noviembre hasta enero y se trilla de finales de marzo a principios de junio (ASERCA, 2003).

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción total mexicana de trigo durante el año 2013 fue 3,357,306.90 toneladas, siendo Sonora el estado de mayor producción con un 35% de la producción nacional.

La elaboración de pastas alimenticias a base de trigo es una práctica antigua, que se sigue especialmente en los países donde se cultiva el trigo. Regularmente se utiliza la variedad de trigo *durum* para su elaboración, porque es de un alto valor nutritivo, aunque en lugares como Italia (en donde el consumo de pasta es el más elevado del mundo) se hacen de harina de trigo duro sola o mezclada con harina candeal dura en proporciones iguales.

En Francia, una ley preceptúa que los macarrones y productos similares solo pueden hacerse de sémola de trigo duro. Entre los demás países de gran consumo de pastas alimenticias figuran Grecia, Suiza y Portugal. En Asia la producción de pastas de trigo es una industria rural, a pesar del crecimiento de la producción industrial en gran escala de las pastas alimenticias. Los tallarines y los fideos en China y los fideos en India se elaboran con instrumentos sencillos. En Japón se consume una variedad de pasta que se llama Ramen, que es una pasta a la que se le ha adicionado carbonato potásico y carbonato sódico. En algunos países como Estados Unidos se han adoptado normas para el enriquecimiento de los macarrones, el espagueti y otras pastas alimenticias. Estos niveles de enriquecimiento suelen ser mayores que los de la harina de trigo debido a que estos deben cocinarse en agua abundante para su preparación y este proceso puede hacerle perder algunos nutrientes (SAGARPA, 2010).

Existen cinco variedades de trigo, cuatro de ellas pueden utilizarse para la elaboración de pan; el quinto es del tipo cristalino, más utilizado para las pastas.

## Variedades de trigo

A nivel general, el trigo se clasifica de acuerdo a la textura del endospermo, porque esta característica del grano está relacionada con su forma de fraccionarse en la molturación, la cual puede ser vítrea o harinosa, y de acuerdo a la riqueza proteica, porque las propiedades de la harina y su conveniencia para diferentes objetivos, están relacionadas con esta característica.

Los trigos más importantes para el comercio son el *Triticum durum* (utilizado principalmente para pastas y macarrones), el *Triticum aestivum* (utilizado para elaborar pan) y el *Triticum compactum* (se utiliza para elaborar galletas).

La clasificación de los trigos en México para su comercialización se hace con base en la funcionalidad del gluten, la cual se indica en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación del trigo en México con base a la funcionalidad del gluten.

Grupo	Denominación	Características del gluten
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico, apto para la industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves.
II	Medio fuerte	Gluten medio fuerte y elástico, apto para la industria artesanal o semi mecanizada de panificación, es mejorador de trigos suaves.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera y la elaboración de tortilla, buñuelos, etc.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera, galletera y elaboración de donas.
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de las pastas.

Fuente: Serna, 2001; ASERCA, 2003.

Un producto de pasta de calidad comienza con una alta calidad de las materias primas. El trigo duro (*Triticum durum*) es ideal para la pasta debido a sus propiedades únicas como contenido relativamente alto de pigmento de color amarillo, baja actividad de la lipoxigenasa y alto contenido de proteína favorables para una buena calidad de cocción (Alami *et al.*, 2007).

## Composición química del trigo

Los cereales, particularmente los provenientes del grano entero y conocidos como integrales, poseen una amplia gama de nutrimentos de interés: fibra, antioxidantes fenólicos, almidones, entre otros (Badui, 2006).

El grano maduro del trigo está compuesto por carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y sales minerales. Como parte de los carbohidratos contenidos se encuentran la fibra cruda, el almidón, y azúcares como maltosa, sacarosa, glucosa, galactosa, y rafinosa, mientras que las proteínas como albúmina, globulina, prolamina, y gluteínas constituyen los compuestos nitrogenados. Algunos ácidos grasos presentes incluyen el mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oléico, linoléico y linolénico, y entre los minerales potasio, fósforo, azufre y cloro. El agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas ( $\beta$ -amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos también están presentes.

**Tabla 6.** Composición del grano de trigo.

<b>Componentes</b>	<b>(%)</b>
Humedad	12.0-14.0
Carbohidratos	75.2-82.1
Proteína	11.5-17.0
Grasa	1.8-2.8
Fibra	2.8-3.0
Ceniza	1.8-2.1

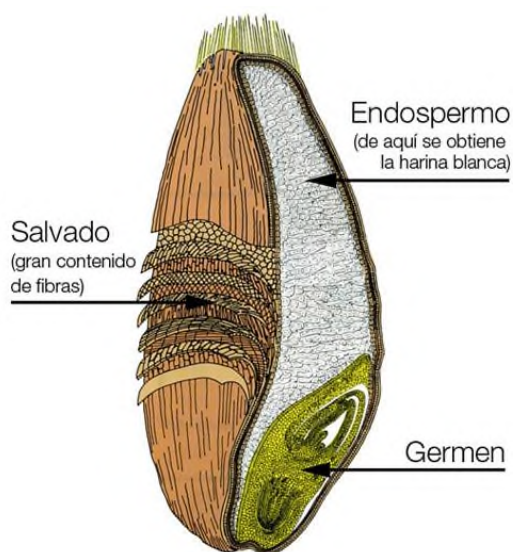
Fuente: Serna, 2001.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado, pero la aleurona es más rica que el pericarpio y testa. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona. En la Tabla 6 se muestra la composición química del grano de trigo.

### ***Trigo durum***

Gran parte de las variedades del trigo son de color ámbar y tienen el endospermo duro, son alargados y tienen forma de cuerno o gancho en uno de sus extremos; además, carecen de vellosidades como se observa en la Figura 3. El grano presenta un gluten que varía de medio fuerte a fuerte dependiendo del porcentaje de proteína como se muestra en la Tabla 5. Tiene alta concentración de pigmentos amarillos (carotenoides) y baja concentración de lipoxidasa (enzima

que destruye los pigmentos durante el procesamiento de semolina, disminuyendo así el color amarillo en el producto terminado (Dexter *et al.*, 1987).



**Figura 3.**Componentes del grano de trigo.

Fuente: Asociación española fabricante de cereales.

En la Tabla 7 se indica la composición química del trigo utilizado en panadería (*T. aestivum*) y del trigo cristalino (*T. durum*). Ambos presentan diferencias principalmente respecto al contenido de proteína.

**Tabla 7.** Composición de las variedades de trigo panadero y cristalino.

Componente	Trigo panadero	Trigo cristalino
Proteína	11.5-17.0%	9.0-18.0%
Fibra Cruda	2.8-3.0%	2.4-3.1%
Cenizas	1.8-2.0%	1.8-2.1%

Fuente: Fabriani y Lintas, 1998; Williams *et al.*, 2000; Serna, 2001.

Los trigos cristalinos contienen mayores porcentajes de proteína que los comunes. Esto como resultado del ambiente en el cual han sido desarrollados; condiciones semiáridas, generalmente producen bajos rendimientos de cosecha (Pomeraz, 1988).

El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios.

Existen diferentes compuestos químicos naturales presentes en el trigo que dan propiedades características a la sémola y harina que se obtienen a partir de este cereal.

### 2.3.2 Sémola de trigo

La sémola de trigo es la fracción del trigo que contiene la mejor calidad y mayor cantidad de proteínas. Las pastas finas se hacen de sémola, las pastas de baja calidad son elaboradas a partir de harina de trigo. Las pastas hechas de sémola tienen una mejor consistencia y mejor comportamiento en la cocción, además de su evidente calidad nutricional, como se muestra en la Tabla 8.

La sémola de trigo es el producto obtenido de la molienda en los primeros cilindros de trituration y tamizado del trigo. Debe tener color, olor y sabor propio y debe estar libre de cualquier infestación y material extraño. Puede contener harina y se le pueden adicionar vitaminas y colorantes naturales.

**Tabla 8.** Composición química de la sémola de Trigo durum.

Componente	Contenido
Agua (%)	12.6
Proteína (%)	14
Grasa (%)	1.85
Carbohidratos (%)	67.5
Fibra (%)	2.55
Ceniza (%)	1.5
Calcio (mg)	51
Fósforo (mg)	293
Hierro (mg)	4.6

Fuente: Roma Prince S.A., 2013

La sémola de trigo generalmente utilizada es la que se obtiene de trigos importados de la calidad del *durum*; estos son principalmente trigos de primavera e invierno. Son de color ámbar, aunque en realidad son trigos blancos con el endospermo translúcido que les da el aspecto

ambarino. El trigo canadiense es del tipo durum, el cual constituye una especie botánica (*Triticum durum*) distinto de los utilizados en panificación (*Triticum vulgare*). Se trata de un trigo duro con el que se elabora la sémola destinada a la elaboración de pasta alimenticia.

Los trigos durum son ricos en pigmentos carotenoides, ya que estos son los que le confieren el color amarillo a la pasta. A causa de la relación entre el color amarillo y la aceptación por el consumidor la cantidad de pigmentación ha servido de guía para seleccionar el durum de buena calidad. Curiosamente, los durum con gluten más fuerte producen pasta con el efecto “al dente” “más” fuerte. De acuerdo al tipo de molienda que se le dé al trigo además de sémola, se puede obtener harina, se logra con una molienda más fina del trigo durum.

La masa hecha de sémola de trigo duro tiene propiedades reológicas ideales para el proceso de fabricación de pasta. El contenido y composición de proteínas y la fuerza del gluten en particular, son importantes para la calidad de cocción de la pasta (Cubadda *et al.*, 1992). Esto está muy influenciado tanto por la gelatinización del almidón como por la formación de la red proteica de productos cereales. Las diversas texturas y cualidades culinarias de la pasta están relacionados con las interacciones de estos dos biopolímeros en presencia de agua (Resmini y Pagani, 1983).

Feillet y Dexter (1996) sugieren que las otras propiedades de trigo duro que influyen en la calidad de la pasta incluyen rendimiento de la molienda de sémola con el grado requerido de refinamiento que se puede extraer de trigo, la capacidad de la sémola extraída para dar la apariencia requerida en la pasta, alta resistencia a la fractura y tolerancia a la cocción. Debe contar con todas las propiedades para dar un producto con masa manipulable, mayor absorción de agua, y pérdida de sólidos mínima durante la cocción. También debe generar un producto final fuerte, flexible y seco, con buena estabilidad de almacenamiento y superficie lisa clara, libre de impurezas y de color amarillo ámbar brillante. Sin embargo, no todas las sémolas de trigo duro producen pasta con buena calidad de cocción; muchas variables están involucradas en la fabricación de la pasta y su papel aún no se ha definido por completo (Resmini y Pagani, 1983).

La mayoría de los fabricantes de pasta prefieren sémola, ya que consiste en finas partículas de tamaño uniforme y permite obtener un producto de pasta de mayor calidad. La sémola se compone de una colección de células del endospermo amiláceo de la planta de trigo. Estas células a su vez están compuestas de paredes celulares (salvado), almidón (endospermo), proteínas y enzimas.

Nuevos conocimientos sobre el procesamiento de sémola de trigo duro en la industria de la pasta junto con nuevas tecnologías de proceso han tenido una influencia considerable en las

especificaciones que la sémola debe cumplir. Para obtener la mejor calidad en pastas, las sémolas idealmente debe tener un buen color amarillo, la cantidad adecuada de proteínas del gluten, manchas oscuras o de salvado mínimos con granulación uniforme, y un contenido de humedad de 13.5 a 14.5% (Fuad y Prabhasankar, 2010).

### **2.3.3 Harina de trigo**

La harina de trigo, es el principal ingrediente para la elaboración de pan, galletas, diversos productos de la industria de la panificación y para la elaboración de pastas alimenticias.

Dentro de la harina de trigo podemos encontrar diversos componentes como son: almidón (70-75%), agua (14%) y proteínas (10-12%), además de polisacáridos no del almidón (2-3%) particularmente arabinosilanos y lípidos (2%). Dentro de estos componentes es de gran interés conocer las características de su proteína.

#### **Proteínas de la harina de trigo**

Entre las proteínas alimentarias, las del trigo son muy singulares por su capacidad de formar una masa viscoelástica. Cuando una cantidad determinada de harina de trigo y agua se mezcla y trabaja, se forma una masa con propiedades viscoelásticas, apropiada para la fabricación de pan, pastas y otros productos. De hecho, las características singulares de la masa se atribuyen, fundamentalmente, a las proteínas de la harina de trigo. Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse en base a su solubilidad y funcionalidad.

##### **a) Por su solubilidad**

Esta clasificación fue desarrollada por Osborne en 1924 y consiste en una serie de extracciones sucesivas con agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos. Usando una secuencia de separación, las proteínas se pueden clasificar en albúminas, gliadinas y gluteninas respectivamente (Goesart *et al.*, 2005). La Tabla 9 muestra las proteínas presentes en las diferentes fracciones, además de su papel biológico y funcional.

Una de las fracciones importantes de proteínas se excluye de las fracciones de Osborne, por que no son extraíbles con ninguno de los disolventes utilizados.

Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne.

**Tabla 9.** Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.

<b>Fracción Osborne</b>	<b>Comportamiento en solubilidad</b>	<b>Composición</b>	<b>Papel biológico</b>	<b>Papel funcional</b>
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (Principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (Principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteína de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (Principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y tritricinas	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (tritricinas)	Variable

Fuente: American Association of Cereal Chemistry, 1983

## **b) Por su funcionalidad**

De acuerdo al punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan.

Las proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño entre un 15-20 % del total de las proteínas el trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo. Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albuminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas). No obstante, estas proteínas también pertenecen a un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas tritricinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Están relacionadas con la mayoría de las proteínas de almacenamiento de legumbres y en otros cereales, como la avena y el arroz (Shewry *et al.* , 1995;

Shewry y Halford., 2002). Estas proteínas se han encontrado en el residuo que queda después del fraccionamiento de Osborne. Su papel en la formación del pan no está muy claro (Veraverbeke y Delcour, 2002).

**Tabla 10.** Clasificación de las proteínas del trigo con base en su funcionalidad

<b>Tipo de proteínas</b>	<b>Ubicación en el grano</b>	<b>% en harina de trigo</b>	<b>Proteínas monoméricas</b>	<b>Proteínas poliméricas</b>
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15-20	Albúminas Globulinas	Triticinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80-85	Gliadinas	Gluteninas

Fuente: American Association of Cereal Chemistry, 1983

Las proteínas del gluten constituyen entre un 80-85% del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento en el trigo; pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry *et al.*, 1995; Shewry y Halford, 2002). Las proteínas del gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas del gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas; éstas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles. En la Tabla 10 se muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

El gluten presenta una composición de aminoácidos muy particular, de los cuales aproximadamente 6% son aminoácidos ionizables, 45% son de naturaleza polar y 49% apolar; se caracteriza por su elevado contenido de prolina y de glutamina (14 y 37%, respectivamente, del total de aminoácidos). Su alta proporción de prolina evita la conformación helicoidal, lo que a su vez acarrea que el grupo amida de la glutamina fácilmente establezca puentes de hidrógeno inter e intramoleculares. Su baja concentración de aminoácidos ionizables y el alto porcentaje de hidrófobos lo hace poco soluble a pH neutro. La baja solubilidad en agua del gluten se debe a su bajo contenido en lisina, arginina, ácidos glutámico y aspártico, que en conjunto constituyen menos del 10 % de los aminoácidos totales. Además, el gluten es rico en residuos de cisteína que permite formar enlaces disulfuro intra e intermoleculares (Badui, 2006).

Durante el amasado, manual o mecánico, se producen varias transformaciones físicas y químicas. Bajo la acción de las fuerzas de cizalla y tracción que se aplican, las proteínas del gluten absorben agua y se despliegan parcialmente. Este desplegamiento parcial de las moléculas de proteína facilita las interacciones hidrofóbicas y los intercambios sulfhidrilo-disulfuro, que determinan la formación de polímeros en forma de hebra. El resultado de este proceso es la formación de una red elástica y cohesiva capaz de atrapar gases. Las transformaciones del gluten determinan un aumento progresivo de la resistencia de la masa con el tiempo, hasta alcanzar un valor máximo, tras el cual la resistencia disminuye, indicando que se está rompiendo la estructura de la red. La tenacidad de las harinas se debe a la composición del gluten; las conocidas como fuertes producen masas cohesivas, que requieren tiempos de mezclado largos, y las llamadas débiles, que no desarrollan una estructura adecuada y colapsan al amasarse (Fennema, .)

La calidad de una proteína está relacionada fundamentalmente con la composición en aminoácidos esenciales y con su digestibilidad. Las proteínas de alta calidad son las que contienen todos los aminoácidos esenciales en proporciones más elevadas que las riquezas de referencia y una digestibilidad comparable o superior a la de las proteínas de la clara de huevo o de la leche. La calidad nutritiva de una proteína deficiente en un aminoácido esencial puede mejorarse mezclándola con otra proteína rica en ese aminoácido.

Varias tipos de harina pueden ser usadas para la elaboración de pasta y cada una afecta de manera diferente el color, el sabor y la textura del producto. En la Tabla 11 se muestran algunos de los diferentes tipos de harina que se encuentran disponibles y se proporciona una descripción de cada una.

**Tabla 11.** Diferentes harinas usadas para producción de pasta.

Harina	Masa	Color	Propiedades	Productos
Harina blanca sin blanquear	Firme, fácil de manejar	Beige crema	Sabor típico de pasta	Pasta hecha en casa
Harina de Sémola	Fuerte, masa elástica, más fácil para dar diferentes formas	Amarilla	Sabor típico de pasta	Todos los tipos de productos de pasta
Harina de trigo integral	Pasta más pesada, requiere un poco más de agua para la masa	Amarillo parduzco	Más vitaminas y fibra	Fideos planos
Harina de trigo sarraceno	Masa para pasta bastante arenosa	Color más oscuro	Textura ligeramente más suave	Pasta de cinta ancha y gruesa
Harina de arroz integral	Alta en fibra	Color canela o marrón claro	Ligero sabor dulce	Pasta de cinta plana
Harina de maíz	Masa granulosa y difícil de enrollar o extruir	Color más oscuro	Ligero sabor a nuez	Fideos planos

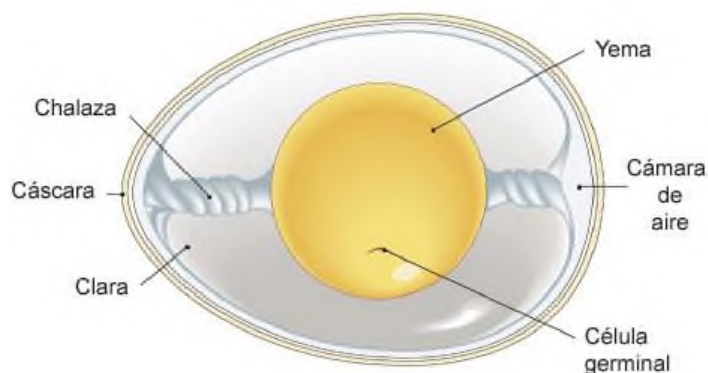
Fuente: Fuad y Prabhasankar, 2010.

Como se ha mencionado previamente, los mejores productos de pasta generalmente son elaborados a partir de sémola durum debido a las excelentes propiedades reológicas de la masa y mejor color, calidad culinaria y aceptación del producto por parte del consumidor (Dexter y Matson, 1979). Sin embargo, es posible emplear otros ingredientes para producir pastas con un mezclado específico.

### 2.3.4 Huevo

La adición de huevo a la pasta imparte un color más amarillo y mejora el valor nutricional del producto. La textura de la pasta adicionada con huevo es más fuerte que la pasta básica y la sensación al paladar es diferente, de manera que el producto posee un valor agregado y se comercializa a un mejor precio.

El huevo realiza diversas funciones en los productos en los cuales se utiliza como ingrediente. Consta de tres partes de modo general: el cascarón, la clara y la yema, aunque contiene más componentes. En la Figura 4 se muestran los componentes del huevo.



**Figura 4.** Componentes del huevo.

Los huevos son ricos en proteína de alta calidad, además de su contenido de agua; su composición física y química se muestra en las Tablas 12 y 13, respectivamente.

La clara aporta las dos terceras partes del peso total del huevo, presenta una textura cuasi-transparente, cuya composición corresponde al 90% de agua y el resto es proteína, trazas de minerales, lípidos, vitaminas (riboflavina, que proporciona ligeramente el color amarillento), y

glucosa. Las proteínas de la clara actúan como un sistema de defensa contra la infección de bacterias y otros microorganismos, su función biológica es la de detener agresiones bioquímicas del exterior.

**Tabla 12.** Composición física del huevo

Elemento	Contenido (%)	Parte comestible (%)
Cáscara	10	--
Clara	58	65
Yema	32	35

Fuente: Charley, 1991.

La yema aporta la tercera parte del peso total del huevo y su función biológica es la de aportar nutrientes y calorías así como la vitamina A, la tiamina y hierro, necesarios para la nutrición del pollo que crecerá en su interior. El color amarillo de la yema no proviene del  $\beta$ -caroteno si no de los xantofilas que la gallina obtiene de la alfalfa y de los diversos granos que consume para su alimentación.

**Tabla 13.** Composición química del huevo

Elemento	Clara (%)	Yema (%)
Agua	88	48
Proteína	11	16.5
Grasa	0.2	32.5
Minerales	0.8	2

Fuente: Charley, 1990.

La ovoalbúmina es la proteína más abundante y está tanto glicosilada como fosforilada en sus residuos de serina. Estas modificaciones permiten separarla en tres fracciones: A1, A2 y A3; asimismo, la presencia de cuatro grupos sulfhidrilo la hacen muy reactiva y fácilmente desnaturizable. Durante el almacenamiento, por un mecanismo de intercambio de disulfuros y sulfhidrilos se convierte en una forma más estable, la S-ovoalbúmina, a la que se le atribuyen las reacciones de hipersensibilidad que presentan algunas personas después de consumir huevos.

La conalbúmina, también llamada ovotransferrina, es la segunda proteína en orden de importancia. Contiene manosa y glucosamina, numerosos enlaces disulfuro (13 por molécula) y presenta la característica de ligar o quelar el hierro y otros iones metálicos, como aluminio, cobre y

zinc. Se considera que esta acción secuestradora inhibe el crecimiento de microorganismos que requieren de dichos elementos para su desarrollo. Durante el almacenamiento, la relación de estos dos polipéptidos sufre alteraciones que se reflejan en una disminución de la viscosidad. La ovomucina es responsable en gran medida de las propiedades funcionales de la clara, como es la capacidad de espumado, y se considera que tiene una actividad biológica contra varios virus.

La lisozima es una glucoproteína de 129 aminoácidos con actividad enzimática, de N-acetilmuramida-glucanohidrolasa, también conocida como muramidasa. Es una de las pocas proteínas con un punto isoeléctrico alcalino debido a su elevado contenido de aminoácidos básicos (Badui, 2006).

Además de las anteriores, existen otras proteínas en menor concentración, como las globulinas G2 y G3, que son glucoproteínas cuya función biológica se desconoce y que tienen la característica de ser buenos agentes espumantes. El ovoinhibidor evita la acción de diversas enzimas proteolíticas, principalmente las que tienen un residuo de serina en su centro activo; su papel funcional en el albumen no se conoce. La ovoflavoproteína es una glucoproteína con ocho grupos disulfuro que tiene la particularidad de unirse fuertemente a la riboflavina, pero el complejo se disocia durante el calentamiento (Badui, 2006).

La ovomacroglobulina, de muy alto peso molecular, está glicosilada y contribuye a las propiedades de espumado del albumen, pero se desconoce su actividad biológica. Finalmente, la avidina es un tetrámero con un punto isoeléctrico alcalino, que presenta la capacidad de ligar una molécula de biotina por cada monómero, mediante uniones no covalentes, lo que le confiere mayor estabilidad a la desnaturalización; el complejo se disocia durante los tratamientos térmicos comunes que recibe el huevo cuando se va a consumir. Pertenece a una familia de genes en la que se encuentran al menos siete variantes que difieren en estabilidad a temperatura, resistencia a proteólisis y capacidad de unión a biotina (Badui, 2006).

Por su parte, el ovomucoide tiene un elevado porcentaje de carbohidratos (hexosaminas, 14%; hexosas, 7% y ácido siálico, 0.7%) que representa hasta 25% de la proteína; contiene ocho enlaces disulfuro por molécula, pero no tiene triptofano o tirosina; es estable al calor y tiene la capacidad de inhibir la tripsina. Los carbohidratos presentes contribuyen a la estabilización térmica de la proteína. La ovomucina presenta aproximadamente 30% de carbohidratos similares a los que se encuentran en el ovomucoide y junto con la lisozima le confiere al albumen las características espesas y gelatinosas.

El huevo se puede añadir ya sea en forma líquida o seca, aunque se prefieren los huevos líquidos considerando la calidad del producto. Sin embargo, el huevo en polvo presenta menos riesgos y proporciona una mayor vida de anaquel.

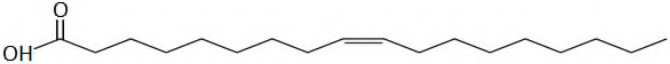
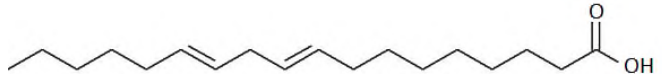
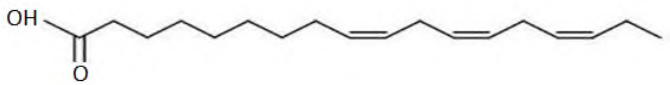
La cantidad de huevo añadido por lo general es la adecuada para que el producto contenga 4 kilogramos de huevo por kilogramo de pasta. Cuando se usa huevo líquido, generalmente se añaden 160 gramos por cada kilogramo de producto.

### 2.3.5 Aceite

El aceite no es esencial en la fabricación de una buena pasta pero cuando se añade, la textura de la pasta es más suave y sedosa. También produce masa que extruye fácilmente de la máquina de pasta. Generalmente, el aceite de oliva se usa para mejorar el sabor, de hecho en las pastas alimenticias consideradas gourmet, se utiliza este aceite para su elaboración.

El aceite de oliva virgen es un producto 100% natural con excelentes características sensoriales (olor, color y sabor). Es el único aceite vegetal que puede ser consumido crudo sin refinar, conservando íntegro su contenido en vitaminas, ácidos grasos esenciales y otros compuestos de gran importancia nutricional, como los antioxidantes naturales (vitamina E y polifenoles).

**Tabla 14.** Ácidos grasos presentes en el aceite de oliva.

Ácido graso	Estructura
Ácido oleico	
Ácido linoleico	
Ácido linolénico	

Fuente: Vazquez, 2013

El aceite de oliva, está constituido por 98 % de grasas, las cuales sirven como vehículos de absorción de las vitaminas liposolubles y ciertos minerales, y suponen un importante aporte

energético. El ácido oleico (ver Tabla 14), que es el componente mayoritario en el aceite de oliva, pertenece al grupo de los ácidos grasos monoinsaturados, considerado cardio-saludable por su acción antitrombótica y antioxidante. El color verde de este aceite se debe a la clorofila y a la luteína, mientras que su aroma es el resultado de diversos terpenos; contiene potentes fitoquímicos antioxidantes fenólicos, como el hidroxitirosol y el tirosol.

### **2.3.6 Agua y sal**

El agua empleada para la producción de pasta debe ser potable, ligera, inodora, incolora e insípida. Cuando se usa agua dura en la elaboración de pastas, el producto final presenta coloración oscura, fragilidad y sabor desagradable.

Durante la preparación de la masa, se añade agua aproximadamente en una proporción de 18 a 25 % con respecto a las materias primas secas, para conseguir que la masa recién formada contenga entre 30-32 % de humedad y el producto final alcance un contenido de humedad de 12.5 % con respecto a la masa del producto (Escamilla, 2001).

Por otra parte, la sal ayuda a inhibir el desarrollo de microorganismos y a reafirmar el sabor de la pasta.

### **2.3.7 Elaboración de las pastas**

Las pastas son elaboradas preferentemente, a partir de sémola producida durante la molienda de trigos cristalinos, debido a que presentan características culinarias de mejor calidad (Wittig *et al.*, 2002). Durante la molienda de trigos cristalinos, también se produce harina, pero en general, tiene un valor económico inferior al de la sémola, considerándose incluso como subproducto. La harina de trigo puede utilizarse para producir pastas, sin embargo, estas presentan características de calidad culinaria inferiores respecto a las características de pastas producidas a partir de sémola, como por ejemplo, menor resistencia al exceso de cocción (Kent, 1987).

En algunas ocasiones se ha utilizado harina de trigo duro común ya sea mezclada en cierta proporción con sémola o sustituyéndola completamente en la producción de pasta. Sin embargo, para que el producto pueda presentarse al consumidor como “hecho de sémola”, debe contener no menos del 50% de ésta. La harina de trigo común, produce pastas que carecen del color amarillo característico y, sus características culinarias son de calidad inferior a las pastas hechas de sémola (Sanders, 1999). El objetivo del proceso de elaboración de pastas es transformar la masa de sémola en una mezcla con estructura homogénea, capaz de mantener una forma en particular, la

cual es establecida por medio del secado (Kruger *et al.*, 1996). La elaboración de las pastas se pueden dividir en tres etapas principales: el mezclado y amasado, la extrusión (laminado y moldeado) y el secado.

### **Mezclado y amasado**

En la primera etapa del proceso, los componentes de la semolina, el gluten y el almidón, son hidratados para modificar sus propiedades reológicas. Durante el mezclado, a la sémola de trigo se le añade agua, hasta conseguir que la masa contenga un 30-32% de humedad. La cantidad de agua requerida dependerá del porcentaje de humedad inicial de la semolina. En esta etapa del proceso es importante garantizar la completa hidratación de la sémola y de los ingredientes adicionales (Kill y Turnbull 2001). La intensidad, la duración y tipo de amasado determinarán en parte la calidad de la masa obtenida. Con el amasado se entremezclan e interaccionan la sémola, el agua, el huevo, el aceite y la sal, desencadenándose microprocesos de naturaleza fisicoquímica, bioquímica y microbiológica necesarios para el proceso de formación de la masa (Quaglia, 1991).

Durante el proceso de amasado la sémola absorbe agua (la cantidad absorbida depende de la granulometría y contenido de proteínas, de la humedad inicial de la sémola, la humedad relativa del ambiente y la consistencia de la masa) y las proteínas (gliadinas y gluteninas) se combinan entre sí formando una red de gluten al mismo tiempo que el almidón absorbe agua y se hincha (Hoseney, 1985). El objetivo de etapa es la formación del gluten, lo cual dependerá de la temperatura del agua de amasado, así como de la velocidad y tiempo de amasado.

Durante el amasado, los materiales son integrados en una mezcla homogénea a través de trabajo mecánico que provocará una reorganización de los materiales de la masa. El gluten forma una red proteica a través de enlaces cruzados proteína-proteína que encapsulan los gránulos de almidón, que estabilizan la estructura y dan textura comestible de la pasta final (Kill y Turnbull 2001). Durante el amasado se genera fricción, esta energía mecánica se disipa en forma de calor, incrementando la temperatura de la masa. Si la temperatura de la masa sobrepasa los 55 °C, cambios adversos pueden ocurrir, como la desnaturalización del gluten, así como el inicio de la gelatinización del almidón. La proteína que coagula forma agrupados dentro de la red de proteína originando pastas de poca resistencia a la cocción.

La temperatura del agua de amasado afecta directamente el tiempo requerido para esta operación. Entre mayor sea la temperatura, la hidratación de las partículas se favorece con un menor tiempo de formación de gluten; sin embargo, la temperatura del agua no debe exceder los 45 °C, pues de lo contrario podría favorecer una reacción de gelatinización que tendría como

resultado la fabricación de una pasta de mala calidad. Además, durante el tiempo de amasado se deberá alcanzar a formar completamente el gluten con un 30 % de humedad y sin producir reacciones de gelatinización. Si el tiempo sobrepasa, dará origen a un desarrollo excesivo de gluten que ocasionará que un mezclado de difícil manejo, generando un rompimiento del mismo. De igual forma, un mezclado débil, que es cuando el tiempo óptimo de formación del gluten no llega a finalizar, el amasado no produce un buen desarrollo del gluten, lo que provoca una pasta débil que sufrirá alteraciones durante el secado (Anderson et al., 1969).

Después de la formación de la masa, se requiere un periodo de reposo o descanso con el objetivo de asegurar una recuperación de la flexibilidad necesaria para un buen manejo de la masa. Este descanso se lleva a cabo a bajas temperaturas (Callejo, 2002).

### **Extrusión**

Una vez obtenida la masa, el siguiente paso es dar forma concreta y definitiva a la pasta, lo cual se realiza por medio de laminado y moldeado o bien mediante un proceso de extrusión.

En los procesos de elaboración artesanal de pasta, para producir una estructura uniforme, la masa se lamina haciendo pasar una bola entre dos rodillos lisos que, girando en sentido opuesto, aplastan la masa en forma de lámina. Para evitarse el desgarre de la pieza, los rodillos están provistos de diferentes niveles de abertura que deben abrirse o cerrarse, dependiendo del tamaño o volumen de la pieza. El moldeado, por su parte, consiste en cortar la lámina en fragmentos de 30 cm y se procede a pasar cada uno por los rodillos acanalados o moldes para la formación del tipo de pasta según el molde utilizado (Callejo, 2002). El moldeado sirve para dar forma a la pieza de pasta, así como para mejorar la estructura de la masa de trigo, en la cual la estructura espacial del gluten es orientada y tensada en un determinado sentido (Quaglia, 1991).

Durante el proceso de extrusión, el material es forzado a fluir, bajo una o varias condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de una placa o boquilla diseñada para darle forma al material (Apró *et al.*, 2000). Este proceso es muy importante ya que tiene una influencia decisiva en la calidad del producto final. Existen diversos equipos de extrusión que pueden emplearse en la elaboración de pastas.

### **Secado**

Terminado el proceso de extrusión la pasta se somete a un proceso de secado, para asegurar su estabilidad microbiológica y bioquímica. La humedad del producto se retira mediante

corrientes de aire seco, lo cual crea un gradiente en el contenido de humedad dentro de la pasta, provocando que la humedad se difunda desde el centro hacia la superficie del producto. La velocidad del secado es fundamental para el producto final, ya que generalmente los secados rápidos generaran grietas en el producto terminado (Kill y Turnbull, 2004). El cuartemiento o formación de grietas en la pasta, le confiere opacidad y disminuye su resistencia. Por su parte, el secado lento podría conducir al desarrollo de hongos, agrietamiento o decoloración (Guler y Koksel, 2005).

Existen diferentes alternativas de secado, cada una de las cuales presenta diferentes condiciones dependiendo el tipo de pasta que se debe secar. En la Tabla 15 se muestran las condiciones que pueden emplearse para el proceso de secado de pastas. Cabe señalar que estas condiciones son sugerencias y puede haber variaciones en las mismas, dependiendo del equipo con el que se cuente y, principalmente, que condiciones resultan ser más apropiadas para obtener un producto de buena calidad (Guler y Koksel, 2005).

**Tabla 15.** Condiciones de secado para pastas.

PROCESOS	PASTAS CORTAS		PASTAS LARGAS	
	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)
STC <sup>1</sup>	8	55	16	55
SAT <sup>2</sup>	4.5	55-75	10	55-75
SMAT <sup>3</sup>	2.5	74-100	5.5	74-100

Fuente: Adaptado de Lorenz, 1991.

<sup>1</sup>STC: Secado a Temperatura Convencional.

<sup>2</sup>SAT: Secado a Alta Temperatura.

<sup>3</sup>SMAT: Secado a Muy Alta Temperatura.

El proceso de secado consta de diferentes etapas que incluyen el presecado inicial, presecado y secado final (Bergman *et al.*, 1996).

El presecado inicial se lleva a cabo después de la operación de moldeado y consiste en secar rápidamente la superficie de la pasta, lo que ocasiona un endurecimiento superficial que evita la pérdida de la forma, además de conferirle cierto grado de resistencia y disminuir el riesgo de contaminación microbiana. Durante esta etapa, generalmente se elimina el 40 % de la humedad total del producto. Posteriormente se procede a un periodo (2-4 horas, aproximadamente) durante el cual se mantiene el producto bajo una atmósfera húmeda (90 % de humedad relativa) con el fin de que la humedad del producto sea homogénea (Guler y Koksel, 2005).

El presecado es la etapa mas importante, y tiene como finalidad remover grandes cantidades de agua en un tiempo relativamente corto, a fin de evitar la fermentación del producto, hacer la pasta elástica y a prueba de deformación en las etapas posteriores, calentar la pasta a temperatura alta para secar rápidamente y evitar riesgo de crecimiento de hongos e incrementar la velocidad del secado (Guler y Koksel, 2005).

Durante el secado final se busca reducir el contenido de humedad final del producto hasta un valor aproximado de 12-12.5 %, balancear los contenidos residuales de agua de las partes internas y externas de las formas de pasta sin agrietar o producir cualquier tipo de rayas en la pasta y evitar pastas ácidas o con hongos.

El control de la temperatura durante el secado también es útil para modificar otras de las propiedades de la pasta como la textura tras la hidratación y cocción, además del color.

## **2.4 Pastas enriquecidas**

De acuerdo con Antognelli (1980), la pasta de trigo es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de grasa y fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína (deficiente en lisina), la cual no aporta los aminoácidos esenciales para el ser humano. Cuando se consume enriquecida con huevo o en combinación con carne, se incrementa su valor nutricional, pero a la vez se incrementa su costo.

Por lo general, la adición de nutrimentos a los alimentos se efectúa por las siguientes razones: reconstitución, para alcanzar el contenido original del alimento antes de su procesamiento; estandarización, para compensar la variación natural de nutrimentos; enriquecimiento, para incrementar la cantidad que normalmente está presente en un producto; y fortificación, para tener nutrimentos que generalmente no están presentes.

Los más empleados son vitaminas, aminoácidos, proteínas, ácidos grasos y elementos químicos, y para que tengan efecto se añaden ya sea cuando el consumo del nutrimento es bajo en la dieta de un número significativo de personas, cuando el alimento base se consume en cantidades importantes para que contribuya en la población, cuando la adición no provoca un desequilibrio de nutrimentos, o bien, cuando el compuesto añadido es estable, inocuo y fisiológicamente disponible.

Entre los aminoácidos más comunes que se emplean están el clorhidrato de lisina y la metionina; hay que considerar que la lisina interviene fácilmente en reacciones de oscurecimiento

no enzimático con azúcares reductores, por lo cual se puede destruir en alimentos sometidos a altas temperaturas. La metionina es inestable en presencia de ácido ascórbico y de riboflavina.

En la década de 1980, se inició el desarrollo de los llamados nutraceúticos o alimentos y bebidas funcionales; posteriormente aparecieron los prebióticos, probióticos y simbióticos. En general, son “alimentos y bebidas que apoyan o proveen beneficios a la salud, más allá de la nutrición básica”. Se considera que contribuyen a evitar problemas de osteoporosis, de cáncer, del corazón, del sistema inmunológico y de otras enfermedades. Este mercado ha crecido mucho en los últimos años y está basado en la adición de una gama amplia de sustancias a los alimentos y en el consumo de otros que contienen agentes activos. Se emplean sustancias como polifenoles, fibras solubles, ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6, proteína de soya, elementos químicos y otros (Badui, 2006).

Se han llevado a cabo diversos estudios a fin de mejorar las propiedades nutricionales de las pastas, adicionando suplementos a partir de varias fuentes con alto contenido proteico.

Debido a lo anterior, en los últimos años, se han desarrollado varios estudios acerca de la elaboración de pastas con ingredientes distintos a la sémola de trigo: harina de frijol, de amaranto, de lupino, de zanahoria y de maíz, así como almidón de yuca, de plátano (*Musa paradisiaca L.*), entre otros (Rayas-Duarte *et al.*, 1996; Goñi *et al.*, 2003; Granito *et al.*, 2003; Kill y Turnbull, 2004, Hernández, 2006). Se podría incrementar el valor nutricional de este alimento al mezclar la sémola de trigo con subproductos industriales como el germen desgrasado de maíz o con leguminosas como *Vigna sinensis*, comúnmente conocido como frijol; ambos ricos en lisina. Por ejemplo, se ha demostrado que el frijol al igual que otras leguminosas es una excelente fuente de proteína (20-40%) (Granito *et al.*, 2003).

Campos (1998) elaboró pastas con forma de lengua empleando diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por harina de ayote (*Cucurbitamoschata*). De acuerdo con los resultados, se observó que la coloración y la absorción de agua de las pastas obtenidas se incrementaron significativamente a mayores porcentajes de sustitución.

Acosta (2007) elaboró una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada y trigo, con el objetivo de producir una pasta nutricionalmente enriquecida y sensorialmente aceptable, teniendo como resultado una mejora de un 20-40% en las propiedades viscoelásticas de la pasta, así como una mejora en el color, textura y sabor del producto.

Astaiza *et al.* (2010) demostraron que la sustitución de trigo con harina integral de quínoa como fuente de lisina y con zanahoria como fuente de fibra dietaría y carotenoides contribuye a elevar el valor nutricional de las pastas, al generarse una mejora en la cantidad y calidad de la proteína por complementación de aminoácidos esenciales e incrementar el contenido de vitamina A, minerales y fibra dietaría, incidiendo en la presentación de alternativas para la promoción del consumo de alimentos más saludables.

En 2011, Gómez *et al.*, elaboraron una pasta de harina compuesta utilizando una mezcla de sémola de trigo e hidrolizado de germen desgrasado de maíz (subproducto de la extracción de aceite). Con el empleo del hidrolizado para sustituir parcialmente la sémola de trigo *durum*, lograron obtener una harina compuesta para la elaboración de una pasta larga, nutritiva y aceptable sensorialmente.

Como se ha demostrado, es posible obtener harinas a partir de diferentes fuentes naturales y posteriormente utilizarlas en la sustitución de la sémola de trigo para la elaboración de pastas alimenticias, con el objetivo de mejorar la calidad proteica de la pasta y sus propiedades funcionales.

De acuerdo con lo anterior, *Moringa oleífera* representa una alternativa muy atractiva para ser utilizada como ingrediente funcional, ya que a partir de sus hojas se puede obtener una harina que puede ser incorporada como ingrediente en la formulación de alimentos con características nutricionales y funcionales derivadas de los compuestos bioactivos que contiene (aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales y antioxidantes). Debido a su alto contenido nutricional, ha sido utilizada para combatir la desnutrición en comunidades tropicales y subtropicales de escasos recursos (Meena *et al.*, 2010).

## **2.5 *Moringa oleífera***

*Moringa oleífera*, es un árbol originario del norte de la india. Tiene la capacidad de crecer en casi cualquier tipo de suelo, incluso en condiciones de sequía, además cuenta con un alto contenido de proteína y compuestos bioactivos, por eso los científicos recomiendan a las poblaciones que lo cultiven para alimentarse.

### **2.5.1 Generalidades de la planta**

El árbol *Moringa oleífera*, es una especie perteneciente a la familia de las Moringáceas del orden *Brassicales* (Tabla 16), originaria del sur de Asia. Esta planta es la más cultivada de las 13 especies conocidas en el mundo. Crece principalmente al pie de los Himalayas, abarcando desde el noroeste de Paquistán hasta el norte de la India (Roloff *et al.*, 2009), sin embargo, su cultivo se

ha extendido a otras regiones de Asia, África y América, incluyendo México y, actualmente, abunda en todo el trópico (Morton, 1991; Quattrochi, 2000).

En México, el árbol de moringa se encuentra distribuido a lo largo de la Costa del Pacífico, desde el sur de Sonora hasta Chiapas, incluyendo el sur de Baja California y el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, donde los ejemplares son abundantes y frondosos (Olson y Fahey, 2011).

**Tabla 16.** Clasificación taxonómica de moringa

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Brassicales
Familia	Moringaceae
Género	<i>Moringa</i>
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

Fuente: Adaptado de Kasolo *et al.*, 2011.

En algunos lugares se conoce como resedá, árbol de rábano, árbol de bequeta, ángela, árbol de los espárragos, árbol de las perlas, árbol “ben” y por varios otros nombres (Shih *et al.*, 2011). Es un árbol perenne, de crecimiento rápido, ideal tanto para zonas áridas como tropicales y subtropicales, y tolera suelos arenosos incluyendo zonas costeras (Manzoor *et al.*, 2007).



**Figura 5.** Árbol de *Moringa oleifera*.

Esta planta se valora principalmente por sus frutos, hojas, flores y raíces, todas comestibles, y por el aceite (también comestible) obtenido de las semillas (Parrotta, 1993). Debido a su alto contenido nutrimental, moringa ha sido utilizada para combatir la desnutrición en comunidades de las zonas tropicales y subtropicales de escasos recursos (Meena *et al.*, 2010). En muchas partes dentro de su área de distribución, las hojas y ramas se usan como forraje para cabras, camellos, y ganado vacuno y ovino (Negi, 1977; Mahatab *et al.*, 1987; Pérez, 2010).

El contenido nutricional de las hojas puede variar en función de la edad del vegetal, la estación, el clima, la condición del suelo y la variedad de la planta. Se ha reportado que sugieren que los extractos de hojas provenientes de árboles desarrollados presentan mayor actividad antioxidante que aquellos de árboles jóvenes (Sreelatha & Padma, 2009). Mientras que otras investigaciones indican que las muestras de moringa cosechadas en invierno presentan mayor actividad antioxidante, mayor contenido de compuestos fenólicos, calcio y cenizas que las cosechadas en verano (Shih *et al.*, 2011). Aunque el contenido de nutrientes de los vegetales varía mucho, puede generalizarse que las hojas de moringa son una fuente importante de compuestos bioactivos.

Actualmente, existen numerosos reportes científicos de las cualidades nutritivas de las hojas de moringa, con lo que se fundamenta su distribución como fuente alimentaria viable para los países en desarrollo, en donde la desnutrición es una de las principales preocupaciones (Fahey, 2005). Debido a lo anterior, en los últimos años se han incrementado los productos elaborados a partir de las hojas de moringa debido a su valor nutricional y a las propiedades medicinales de la planta.

### **2.5.2 Características nutricionales de la planta**

Todas las partes de la planta de moringa ofrecen compuestos nutritivos y bioactivos que son muy importantes para una dieta saludable (Pinheiro *et al.*, 2008). Por ejemplo, las vainas poseen proteínas, aminoácidos, fibra, ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y minerales (Gidamis *et al.*, 2003). Un alto contenido de  $\alpha$ -tocoferol ha sido encontrado prácticamente en toda la planta (Machado *et al.*, 2005). Sin embargo, la corteza de las raíces se debe eliminar para poder ser consumida porque contienen alcaloides, especialmente moringina, una toxina del mismo grupo de la efedrina (Meena *et al.*, 2010; Patel *et al.*, 2010).

En particular, las hojas de *Moringa oleifera* son ricas en proteínas (20-35 %), minerales, carotenoides, y vitamina C (Gopalan *et al.*, 1971; Verma *et al.*, 1976, Peter,1979; Sreeramulu, 1982; Sreeramulu *et al.*, 1983), los contenidos se pueden apreciar en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Contenido nutricional de las hojas de *Moringa oleifera*  
(Valores reportados por 100 g de porción comestible).

<b>Nutriente</b>	<b>Hojas frescas<sup>a</sup></b>	<b>Hojas secas<sup>b</sup></b>
Proteína	6.70 g	27.1 g
Carbohidratos	12.5 g	38.2 g
Lípidos	1.70 g	2.3 g
Fibra	0.90 g	19.2 g
Caroteno ( Vit. A)	6.78 mg	18.9 mg
Tiamina (B1)	0.06 mg	2.64 mg
Riboflavina (B2)	0.05 mg	20.5 mg
Niacina (B3)	0.8 mg	8.2 mg
Vitamina C	220 mg	17.3 mg
Calcio	440 mg	2003 mg
Potasio	259 mg	1324 mg
Fósforo	70 mg	204 mg
Magnesio	42 mg	368 mg
Hierro	0.85 mg	28.2 mg
Cobre	0.07 mg	0.57 mg
Zinc	0.16 mg	3.29 mg

Adaptado de :<sup>a</sup>Gopalan *et al.*, 1971 y <sup>b</sup>Funglie, 1999.

Por otra parte, es importante señalar que esta especie presenta cantidades significativas de todos los aminoácidos esenciales, lo cual es inusual en alimentos vegetales. En la Tabla 18 se muestra el contenido de aminoácidos de las hojas de moringa.

El contenido nutricional puede variar de acuerdo a la localización agroclimática de producción (Iqbal y Bhangar, 2006; Jongrungruangchok *et al.*, 2010; Jagadheesan *et al.*, 2011), temporada (Shih *et al.*, 2011) y edad del árbol (Sreelatha y Padma, 2009).

Las hojas de moringa son una poderosa fuente de antioxidantes naturales. Estas son ricas en compuestos fenólicos y micronutrientes esenciales con actividad antioxidante, como selenio y zinc (Pérez, 2013). Además, los carotenoides, la vitamina C y la vitamina E, presentes en esta especie, también funcionan como antioxidantes (Funglie *et al.*, 1999). Algunos de los antioxidantes

primarios presentes en las hojas de *Moringa oleífera* incluyen distintos grupos de compuestos de naturaleza química diversa especialmente lábiles en presencia de calor, luz y oxígeno.

**Tabla 18.** Contenido de aminoácidos de las hojas de *Moringa oleífera*

(Valores reportados por 100 g de porción comestible).

<b>Aminoácido</b>	<b>Hojas frescas<sup>a</sup> (mg)</b>	<b>Hojas secas<sup>b</sup> (mg)</b>
Leucina	492.2	1950
Arginina	406.6	1325
Valina	374.5	1063
Lisina	342.4	1325
Fenilalanina	310.3	1388
Isoleucina	299.6	825
Histidina	149.8	613
Treonina	117.7	1118
Metionina	117.7	350
Triptófano	0.85	425

Adaptado de: <sup>a</sup>Gopalan *et al.*, 1971 y <sup>b</sup>Funglie, 1999.

El árbol de *Moringa* es una opción muy atractiva para ser cultivada a lo largo del país, porque además de ser un alimento nutritivo, se podría comercializar en una amplia gama de presentaciones. Sin embargo, existen reportes donde se atribuye que el consumo de moringa no sólo ofrece numerosos beneficios nutritivos y comerciales, también contribuye a la prevención de enfermedades gracias a sus compuestos bioactivos que se encuentran presentes principalmente en sus hojas (Siddhujaru y Becker, 2003; Yang *et al.*, 2006; Olson y Fahey, 2011; Shih *et al.*, 2011).

### **2.5.3 Compuestos bioactivos de las hojas de *Moringa oleífera***

Desde hace algunos años, se ha enfocado la atención en identificar los compuestos bioactivos que se encuentran en plantas, los cuales puedan ser utilizados para el consumo humano y el control de enfermedades. Al respecto, se han desarrollado diversas investigaciones sobre el mantenimiento y mejora de la salud a través del consumo de hojas de moringa, identificándose diversas actividades fisiológicas como hipocolesterolemia (Ghasi *et al.*, 2000; Mehta *et al.*, 2003), hipotensora (Faizi *et al.*, 1995), antiulcerosa (Pal *et al.*, 1995), antiespasmódica,

antiinflamatoria (Caceres *et al.*, 1992), hipolipemiante, antiaterosclerótica (Chumak *et al.*, 2008), hipoglucémica (Tende *et al.*, 2011), y antioxidante (Shih *et al.*, 2011; Moyo *et al.*, 2012), derivadas de la presencia de diferentes compuestos bioactivos.

Dentro de los compuestos bioactivos presentes en las hojas de moringa, los antioxidantes presentan un amplio grupo capaz de prevenir los procesos degenerativos asociados a un exceso de radicales libres en el organismo. Estas especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), como  $O_2^\circ$ ,  $H_2O_2^\circ$  y  $HO^\circ$  se generan continuamente en el interior del cuerpo humano como consecuencia de la exposición a una cantidad de factores provenientes del entorno como humo de tabaco, ozono, radiaciones, disolventes orgánicos, pesticidas y otros contaminantes; y de procesos metabólicos endógenos donde se involucran la transferencia de electrones (Singh *et al.*, 2009; Sreelatha y Padma, 2009). En condiciones normales, las ROS y los antioxidantes se encuentran presentes en el cuerpo humano en equilibrio. Sin embargo, debido a la sobreproducción de ROS y/o la defensa antioxidante insuficiente, este equilibrio se rompe y se presenta estrés oxidativo (Kohen y Gati, 2000). Las ROS atacan fácilmente e inducen daño oxidativo a las biomoléculas, entre ellas, proteínas, carbohidratos, lípidos, lipoproteínas, enzimas, ARN y ADN. Este daño oxidativo es un factor implicado en varias enfermedades crónicas humanas como la diabetes *mellitus*, el cáncer, la aterosclerosis, la artritis, las enfermedades neurodegenerativas y también el proceso de envejecimiento (Singh *et al.*, 2009; Sreelatha y Padma, 2009).

Por el actual interés en el estudio de radicales libres, los efectos que tienen en la salud humana, y la evidencia de que los antioxidantes sintéticos producen toxicidad, se justifica la utilidad de los antioxidantes provenientes de fuentes naturales para la protección contra el estrés oxidativo. Numerosos reportes concluyen que las hojas de moringa son una fuente viable de antioxidantes naturales, identificando principalmente ácido ascórbico (Vitamina C), carotenoides y compuestos fenólicos (Gidamis *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2006; Arabshahi *et al.*, 2007; *Elkhalifa et al.*, 2007; Manguro y Lemmen, 2007; Nadro *et al.*, 2007; Chumark *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2009; Jongrungruangchock *et al.*, 2010; Tende *et al.*, 2011; Yaméogo *et al.*, 2011).

Las hojas de *Moringa oleífera* son una fuente rica de  $\beta$ -caroteno (19 mg/100 g), también se ha informado del alto contenido de carotenoides tanto en hojas frescas como en hojas deshidratadas (Seshadri *et al.*, 1997; Nambiar y Seshadri, 1998; Nambiar y Seshadri, 2001; Lako *et al.*, 2007). Lako *et al.* (2007) reportaron el contenido de  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno, en una proporción de 10 y 34 mg/ 100 g, respectivamente.

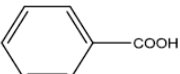
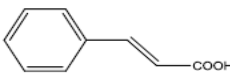
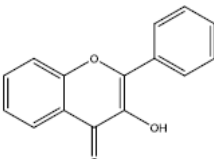
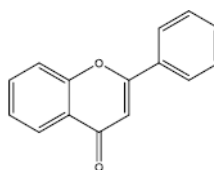
Por otra parte, los compuestos fenólicos son un grupo de moléculas bioactivas producto del metabolismo secundario de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8,000 compuestos distintos. El interés por estos compuestos naturales ha

incrementado en los últimos años debido a su actividad antioxidante, anticarcinogénica y su relación con el mantenimiento de la salud humana por su capacidad de neutralizar ROS. Distintos

Estudios sugieren que el consumo de alimentos ricos en polifenoles ofrecen protección contra el desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes, osteoporosis y desórdenes neurodegenerativos (Herrera y Luque de Castro, 2005; Pandey y Rizvi, 2009; Quideau *et al.*, 2011; Olszewska *et al.*, 2012). Los polifenoles pueden ser clasificados en grupos diferentes en función del número de anillos de fenol que contienen y del tipo de sustituyentes y grupos funcionales que se unen a estos anillos. Las clases principales son los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos (Pandey y Rizvi, 2009).

Además de que se ha reconocido a las hojas de moringa como una fuente viable de fitoquímicos, como los carotenoides, y cierto número de vitaminas, como ácido ascórbico, es también rica en compuestos fenólicos, en la Tabla 19 Se presentan algunos de los polifenoles identificados en muestras de moringa. Amaglo *et al.*, (2010) identificaron en muestras de *Moringa oleífera* un perfil de flavonoides relativamente complejo que consta de glucósidos, rutinósidos, malonilglucósidos y tazas de acetilglucósidos de kaempferol, quercetina e isoramnetina.

**Tabla 19.** Principales compuestos fenólicos identificados en las hojas de Moringa oleífera.

		Estructura básica	Compuestos	Referencia
Ácidos fenólicos	Hidroxibenzoicos		Gálico Vainillíco Elágico Siríngico	(Nambiar <i>et al.</i> , 2005; Manguro y Lemmen, 2007; Verma <i>et al.</i> , 2009)
	Hidroxicinámicos		Clorogénico Ferúlico p-cumárico	(Nambiar <i>et al.</i> , 2005; Verma <i>et al.</i> , 2009; Amaglo <i>et al.</i> , 2010)
Flavonoides	Flavonoles		Quercitina Kaempferol Isoramnetina Miricetina Morin	(Manguro y Lemmen, 2007; Lako <i>et al.</i> , 2007; Sultana y Anwar, 2008; Verma <i>et al.</i> , 2009; Amaglo <i>et al.</i> , 2010)
	Flavonas		Acacetina	(Nambiar <i>et al.</i> , 2005)

Fuente: Vazquez, 2013

La estructura de los polifenoles determina su capacidad antioxidante, lo que ha originado una serie de investigaciones al respecto (Rice-Evans *et al.*, 1996; Villaño *et al.*, 2005; Siquet *et al.*, 2006). De manera general, se puede señalar que la presencia de sustituyentes hidroxilo aumenta la capacidad antioxidante. En el caso de los flavonoles, la mayor capacidad antioxidante se produce con una estructura orto-dihidroxi en el anillo B y un OH en la posición 3, un doble enlace 2,3 y una función oxo en el C4, lo que ocurre con la quercitina (Martínez-Flórez *et al.*, 2002).

Siddhuraju y Becker (2003) estudiaron los atributos antioxidantes *in vitro* de varios extractos polifenólicos empleando diferentes solventes (agua, etanol-agua y metanol agua) de hojas liofilizadas de *Moringa oleifera* originarias de tres diferentes regiones agroclimáticas. Todos los extractos presentaron capacidad de captación de radicales peroxilo, superóxido y DPPH, así como actividad antioxidante en el sistema  $\beta$ -caroteno-ácido linoléico y poder reductor. Los extractos obtenidos con las mezclas alcohólicas-acuosas fueron los que presentaron mejores resultados en atributos antioxidantes sin presentar diferencia significativa, lo cual también fue confirmado por Sultana *et al.* (2009) utilizando metanol y etanol al 80%. En este trabajo se observó que los atributos antioxidantes pueden variar de acuerdo a la región agroclimática, lo cual ha sido confirmado con otros trabajos como el de Iqbal y Bhanger (2006), o el realizado por Shih *et al.* (2011) en donde además se reportan diferencias de acuerdo a la temporada de producción, así como el de Srrelatha y Padma (2009) quienes reportan además diferencias, en dos estados de madurez de las hojas.

Por su parte, Verma *et al.* (2009) y Moyo *et al.* (2012) estudiaron la actividad antioxidante *in vitro*, evidenciando la capacidad de inhibir la peroxidación lipídica y su actividad de superóxido dismutasa, catalasa y glutatión reducido. Los atributos antioxidantes de moringa también han sido comparados con los de otras especies de hojas verdes en otros países (Lako *et al.*, 2007) y con algunos vegetales como la zanahoria (Arabshahi *et al.*, 2007). Otros estudios han comprobado que el poder antioxidante de las hojas es mayor que el de los frutos verdes o las semillas (Singh *et al.*, 2009; Shih *et al.*, 2011).

#### **2.5.4 Usos y aplicaciones de moringa en productos alimenticios**

La especie *Moringa oleifera* brinda una innumerable cantidad de productos valiosos. Las vainas verdes, las hojas, las flores y las semillas tostadas son muy nutritivas y se consumen en muchas partes del mundo. El aceite de la semilla de moringa puede utilizarse en la cocina, o bien, para producir jabones, cosméticos y combustibles para lámparas.

Las hojas frescas de moringa son muy apetecidas, con ellas se pueden preparar infusiones, ensaladas verdes, pastas para bocaditos, salsas, sopas o cremas, guisos, frituras, y aliños en general. Pueden ser mezcladas con jugos o cocteles de frutas y con diferentes platos, ya que enriquece notablemente el valor nutricional en proteínas, vitaminas y minerales de dichos alimentos.

Además, estas hojas pueden secarse a la sombra y conservarse enteras o molidas. En esta última variante, el polvo permanece por meses sin perder sus propiedades, además de que resulta útil para ser usado como condimento o añadido a sopas, caldos y jugos, entre otros.

Las flores son ricas en calcio y potasio, pueden consumirse crudas o cocinadas, acompañando ensaladas, sopas, otros platos y como infusiones. De las semillas se extrae un aceite similar al de oliva, muy bueno para el aliño de ensaladas.

En algunos países se ha utilizado para fortificar alimentos por su efecto para combatir la desnutrición.

En cuanto a trabajos realizados sobre su aplicación en sistemas alimentarios, Anwar *et al.* (2007) prepararon varios extractos de las hojas de moringa, agregaron los extractos a aceite de girasol y lo almacenaron por 2 meses. Pasado este tiempo, compararon los niveles de peróxidos, dienos y trienos conjugados y los valores de p-anisidina. Todos sufrieron cambios moleculares producidos por el enranciamiento de los aceites, pero en los aceites sin el extracto de moringa estos indicadores estaban presentes al doble en comparación con los aceites con moringa. De la misma forma, Reddy *et al.* (2005) observaron que una cantidad pequeña de extracto de hojas de moringa retrasó significativamente el proceso de enranciamiento en galletas siendo éste más efectivo que los antioxidantes sintéticos BHA (2-terbutil-hidroxianisol) y BHT (2-terbutil-hidroxitolueno).

A partir de los estudios reportados, queda claro que *Moringa oleifera* ofrece antioxidantes eficaces que podrían brindar agentes conservadores naturales alternativos a los conservadores tradicionales, así como también beneficios a la salud del consumidor en las hojas o productos elaborados a partir de éstas.

## 2.6 Síntesis de antecedentes

Las pastas alimenticias constituyen un alimento de consumo masivo a nivel mundial, debido a su alta aceptación, fácil preparación y bajo costo, por lo que son de alto interés por parte del consumidor, ya que permiten una amplia gama de posibilidades para ser consumidas. Sin embargo, las pastas tienen un bajo contenido proteico, debido a su deficiencia en lisina que es un aminoácido esencial. Es por ello que diversos investigadores se han dado a la tarea de enriquecer el contenido proteico de las pastas y fortificarlas de diversas formas.

Existen diversas investigaciones en las cuales se han modificado en su mayoría o en parte, las materias primas que se emplean para elaborar las pastas alimenticias. Con la finalidad de enriquecerlas, se han utilizado harinas obtenidas a partir de diferentes fuentes vegetales, incluyendo zanahoria, quínoa, yuca, plátano chícharo, frijol, cebada y en algunos casos germen desgrasado de maíz que es un subproducto obtenido del proceso de extracción de aceite.

Todos estos estudios han demostrado tener diversos efectos en las propiedades químicas y físicas de las pastas alimenticias. Dentro de estos efectos podemos mencionar aumento en contenido y calidad de proteína, reducción del contenido de humedad y de lípidos en las pastas, así como un aumento en el tiempo de vida de anaquel, obteniendo propiedades viscoelásticas similares a las que se tendrían con una pasta elaborada totalmente de sémola de trigo.

De acuerdo con lo anterior, la pasta representa un excelente medio para incrementar la calidad nutricional de la dieta, de manera que, una alternativa para suplir estas necesidades nutricionales sería elaborar pasta fortificada con harina obtenida de hojas de *Moringa oleífera*, ya que esta fuente de origen vegetal presenta un alto contenido de compuestos bioactivos que permiten mejorar la calidad nutricional, generando un alimento con propiedades funcionales.

### III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en México, las principales causas de muerte son la obesidad, diabetes, cáncer y enfermedades cardiovasculares, por lo que la Industria de Alimentos y diversos investigadores se han dado a la tarea de desarrollar alimentos de consumo masivo que aporten mayor calidad nutricional y que además contribuyan a mejorar la salud y el bienestar del consumidor, como es el caso de los alimentos funcionales. El desarrollo de alimentos funcionales ha venido evolucionando, debido a que se han encontrado nuevos ingredientes con compuestos bioactivos, entre ellos los compuestos antioxidantes.

La pasta es un alimento de consumo masivo y de alta aceptación a nivel mundial, es de bajo costo, fácil preparación y almacenamiento, sin embargo, posee baja calidad proteica, por lo tanto, se ha recurrido al uso de ingredientes alternativos a la sémola de trigo con la finalidad de mejorar el valor nutritivo de estos productos. Debido a que la hoja de *Moringa oleífera* contiene una cantidad considerable de antioxidantes, lípidos esenciales y aminoácidos esenciales, podría ser una alternativa, para elaborar harina y usarla como ingrediente en la elaboración de una pasta, de esta manera se obtendría un alimento con propiedades funcionales.

### IV. HIPÓTESIS

La incorporación de harina de *Moringa oleífera* en la formulación de la pasta, incrementará su contenido de proteína, contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante, generando un alimento con propiedades funcionales.

## V. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo General

Elaborar pasta tipo lasaña adicionada con harina de moringa empleando diferentes niveles de sustitución de sémola y harina de trigo y evaluar las propiedades químicas y físicas de los productos desarrollados.

### 5.2 Objetivos Específicos

- Formular pastas a partir de diferentes proporciones de sémola, harina de trigo y harina de moringa.
- Proponer las condiciones de operación en la etapa de secado durante el proceso de elaboración de las pastas.
- Evaluar el efecto de la adición de harina de moringa sobre la composición químico proximal, color, actividad de agua, el contenido de fenoles totales (CFT) y la actividad antirradical (AAR) de las pastas elaboradas.
- Evaluar la calidad culinaria de las pastas en función del tiempo de cocción y la degradación del producto por pérdida de peso.
- Evaluar el efecto de la cocción sobre la composición químico proximal y la retención de atributos antioxidantes en las pastas.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Materia prima

Para llevar a cabo el presente trabajo, se utilizó harina de *Moringa oleífera*, obtenida por deshidratación de hojas frescas cosechadas a partir de ejemplares localizados en la Universidad del Papaloapan, Campus Tuxtepec. La sémola de trigo duro a granel fue adquirida con una empresa fabricante de materias primas para la industria alimentaria ubicada en Puebla, México, mientras que la harina de trigo duro (marca San Blas<sup>®</sup>) se adquirió en el comercio local. El resto de los componentes empleados incluyendo huevos (marca Granja Avícola Tehuacan<sup>®</sup>), sal (marca La Fina<sup>®</sup>) y aceite de oliva extra virgen (marca San Lucas<sup>®</sup>) también fueron adquiridos del comercio local.

### 6.2 Reactivos y disolventes

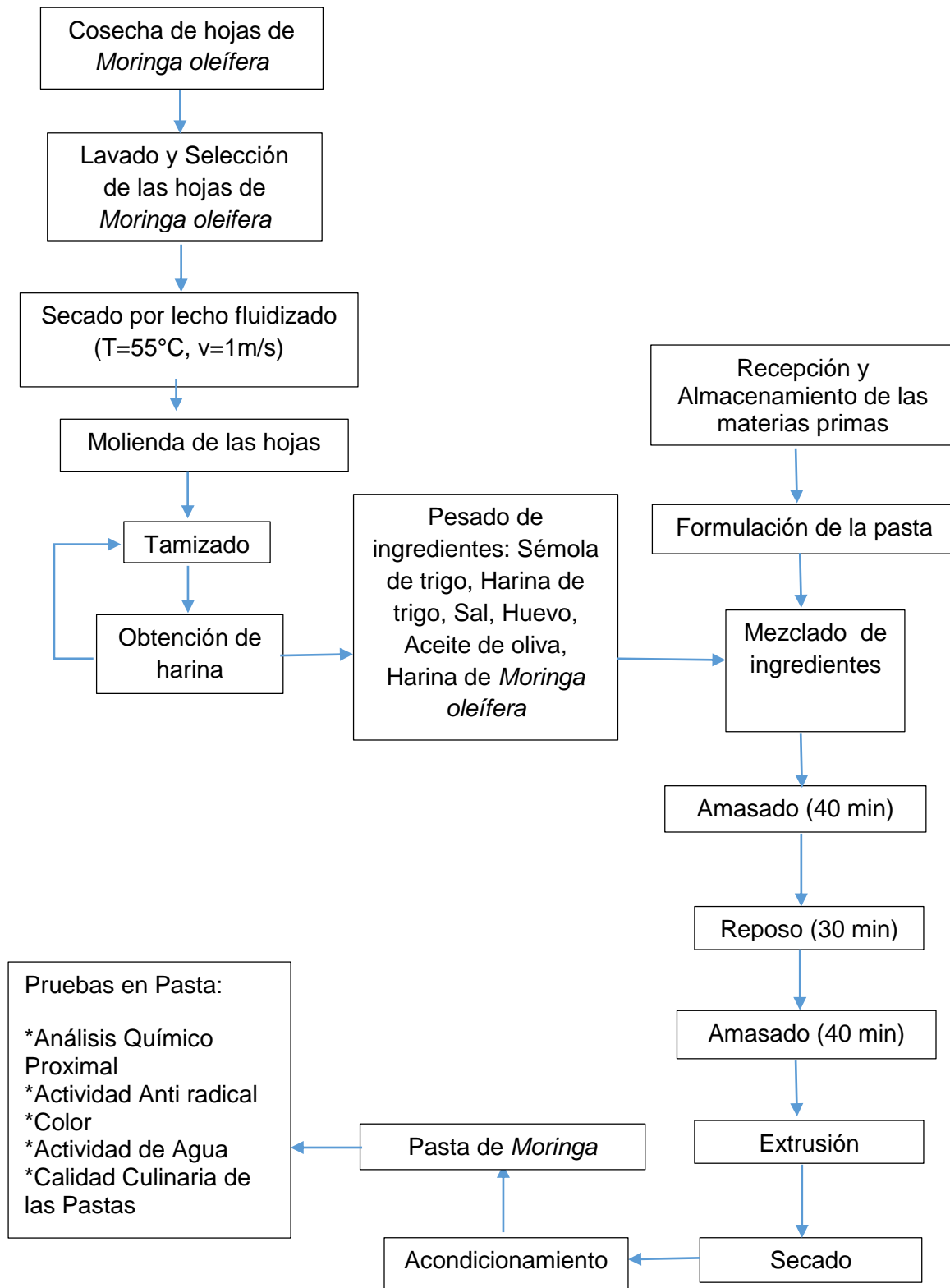
El 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), 2,2' Azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS), persulfato de potasio, reactivo de Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio, ácido metafosfórico, ácido gálico y Trolox fueron adquiridos en Sigma-Aldrich. El metanol absoluto y el éter de petróleo fueron adquiridos en J.T. Baker, México; el etanol absoluto en Reactivos Golden Bell. Todos los disolventes utilizados en este estudio fueron de grado analítico.

### 6.3 Metodología

En la Figura 6 se muestra el diagrama general que resume las etapas que integraron el desarrollo del presente trabajo.

#### 6.3.1 Obtención de la harina de *Moringa oleífera*

La harina se elaboró a partir de hojas frescas de moringa obtenidas del cultivo de la Universidad del Papaloapan. Las hojas se deshidrataron en un secador de lecho fluidizado a 55°C, empleando una velocidad de aire de 1 m/s, de acuerdo a la metodología propuesta por Pérez (2013). Posteriormente, las hojas secas fueron molidas para reducir el tamaño de partícula y la harina obtenida se tamizó (malla No. 80) hasta obtener un polvo fino.



**Figura 6.** Diagrama de la metodología general del presente trabajo

### 6.3.2 Proceso de elaboración de las pastas

Para desarrollar la metodología, se propuso un diseño experimental que consistió en la preparación de pasta tipo lasaña; una pasta control elaborada con harina y sémola de trigo durum al 100% y pastas enriquecidas sustituidas con tres diferentes porcentajes de harina de moringa (ver Tabla 20). Cada formulación se preparó por duplicado.

**Tabla 20.** Formulación propuesta para la pasta adicionada con harina de moringa

Ingredientes	Pasta tipo lasaña				
	Control	1	3	4	7
Harina de trigo	30	29.7	29.1	28.8	27.9
Sémola de trigo	70	69.3	67.9	67.2	65.1
Harina de moringa	0	1.0	3.0	4.0	7.0

El proceso de elaboración de las pastas se realizó en 5 etapas que incluyeron: mezclado y amasado, reposo, extrusión y secado.

Se pesaron los ingredientes secos y se mezclaron (sémola de trigo, harina de trigo, harina de moringa y sal) de acuerdo con las formulaciones de la tabla 20. Esta premezcla se tamizó a fin de evitar la formación de grumos y facilitar el mezclado de la masa. Posteriormente se pesaron los ingredientes húmedos como huevo (3 Piezas) y aceite de oliva (6 g) y se incorporaron a la premezcla seca para comenzar el proceso de amasado.

El proceso de amasado se llevó a cabo en forma manual, procurando incorporar de manera homogénea toda la mezcla. El tiempo de amasado fue de 20 min, seguido de un periodo de reposo de 30 min, para realizar posteriormente un segundo periodo de amasado durante 20 min con el objetivo de garantizar una masa homogénea.

Una vez obtenida la masa, se procesó en una máquina fabricadora de pasta (Pastamatic Simac, mod. MX 700, Italia) empleando un dado plano para la producción de pasta tipo lasaña (15 x 5 cm).

La pasta ya formada, se sometió al proceso de secado que se llevó a cabo colocando el producto en bandejas perforadas en un secador (APEX mod. SSE 17 M, USA) empleando una temperatura de 40°C y una velocidad de aire de 1 m/s durante 80 min.

El secado se realizó con el propósito de reducir el contenido de humedad inicial de la pasta (procedente del laminado) desde un 30 % hasta un contenido de humedad final de 10 %, de acuerdo con las características de calidad establecidas por el CODEX STAN 178-1991.

Las pastas obtenidas fueron enfriadas en un desecador y empacadas al vacío en bolsas tricapa hasta su uso posterior. Todas las formulaciones se elaboraron por duplicado.

## **6.4 Determinación de la composición químico proximal de las pastas**

### **6.4.1 Preparación de las muestras de pastas crudas y cocidas**

Para realizar las determinaciones analíticas, las muestras de pasta cruda fueron pulverizadas con ayuda de un molino para café (Krups, mod. GX410011V, México) y posteriormente empacadas al vacío para uso posterior. Para las muestras de pastas cocidas, se colocaron 15 g de pasta en 300 mL de agua hirviendo y se cocieron de acuerdo al tiempo que se determinó de las pruebas de cocción. La muestra cocida se escurrió, se enfrió y se congeló para posteriormente ser liofilizada (Labconco, mod. FREZONE 2.5, USA), pulverizadas y empacadas al vacío para uso posterior.

### **6.4.2 Contenido de humedad**

El contenido de humedad de las pastas crudas y cocidas se determinó por pérdida de peso, empleando el método de estufa de vacío (AOAC 32.1.03, 2000). Se tomaron muestras de  $1 \pm 0.1$  g y se colocaron en charolas de aluminio previamente llevadas a peso constante. Posteriormente, las muestras se introdujeron en una estufa de vacío (Shel Lab, mod.1425, USA), empleando una temperatura de 60°C y una presión de 600 mbar. Las muestras fueron mantenidas en la estufa hasta llegar a peso constante (6 h); posteriormente, fueron retiradas, enfriadas en un desecador y pesadas empleando una balanza analítica (Ohaus, mod. AR2140, USA) con sensibilidad de 0.0001 g. La determinación se realizó por triplicado. El resultado se expresó en % de la muestra en base seca.

### **6.4.3 Determinación de proteína**

Para la determinación de nitrógeno se ocupara el método 2.057 y 14.026, AOAC, 1980, se utilizara el método de Kjeldahl, con un factor de conversión de 5.85, se utilizara este factor puesto que es el utilizado para determinar el contenido proteico en pastas alimenticias. Las determinaciones se realizaron por triplicado. El resultado se expresó en % de la muestra en base seca.

### **6.4.4 Determinación de lípidos**

El contenido de lípidos de las pastas crudas y cocidas se cuantificó de acuerdo con el método 7.056 (AOAC, 1980), el cual emplea un sistema de extracción Soxhlet. Se pesaron 3 g de muestra de pasta previamente pulverizada y se colocaron en un cartucho de celulosa. Posteriormente, los cartuchos conteniendo la muestra, fueron colocados en el equipo de extracción Soxhlet y se colocaron 130 mL de éter de petróleo (empleado como disolvente de extracción) en los matraces balón. La extracción se llevó a cabo por 4 h. Las determinaciones se realizaron por triplicado. El resultado se expresó en % de la muestra en base seca.

### **6.4.5 Determinación de cenizas**

El contenido de cenizas de las pastas crudas y cocidas se determinó de acuerdo con el método (AOAC, 923.03, 1990). Se colocó 1 g de muestra de pasta en un crisol previamente puesto a peso constante, el crisol con la muestra fueron llevados a un proceso de calcinación en un quemador de una parrilla, hasta que se dejaron de desprender humos. Posteriormente se colocó la muestra en una mufla (Wise Therm, mod. FH-14, Alemania) a 550 °C durante 5 h. Una vez transcurrido el tiempo, se dejó enfriar la muestra en la mufla durante toda la noche, posteriormente la muestra se retiró de la mufla y se transfirió a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente se registró el peso empleando una balanza analítica (Ohaus, mod. AR2140, USA) con sensibilidad de 0.0001 g. Las determinaciones se realizaron por triplicado. El resultado se expresó en % de la muestra en base seca.

### **6.5 Determinación del contenido de fenoles totales y actividad antirradical**

Entre los métodos para la determinación del CFT se incluyen los métodos espectrofotométricos, que permiten cuantificar todos los compuestos fenólicos extraíbles. Entre este tipo de técnicas, el método usado comúnmente para determinar polifenoles en alimentos es el ensayo de Folin-Ciocalteu para la cuantificación de polifenoles totales en alimentos vegetales y en bebidas (Swain y Hills, 1959; Thaipong *et al.*, 2006; Verma *et al.*, 2009). El estándar que se usa

de comparación en este método es el ácido gálico, el cual actúa como receptor de radicales libres y neutralizadores de la cadena alifática gracias a los tres grupos hidroxilo unidos a su núcleo aromático. La presencia de más de tres de estos grupos en un núcleo aromático dado no mejora la eficacia antioxidante, de ahí su importancia (Pokorny *et al.*, 1987; Chimi *et al.*, 1988). Otra de las razones por las que se emplea ácido gálico es que se obtiene puro fácilmente además de ofrecer una solubilidad favorable, una adecuada estabilidad y un bajo precio. La respuesta obtenida con ácido gálico es equivalente a la mostrada con la mayoría de los otros compuestos polifenólicos en los alimentos y bebidas, y además no se han reportado anomalías con su uso (Rebolo, 2007).

Por otra parte, existen diversos compuestos cromógenos (ABTS, DPPH, DMPD, DMPO y FRAP) que son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos antioxidantes que contienen los alimentos para captar los radicales libres generados (actividad anti-radical), operando así en contra los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS) (Re *et al.*, 1999; Arnous *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2002; Sellapan *et al.*, 2002). Los métodos más aplicados son ABTS (2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) por ser los métodos más rápidos, simples operacionalmente y más reproducibles (Prior *et al.*, 1998; Prior y Cao, 1999; Arnao, 2000; Montoya *et al.*, 2003; Krishnaiah *et al.*, 2011).

### **6.5.1 Obtención del extracto para determinación de CFT y AAr**

Para determinar el contenido de fenoles totales (CFT) y la actividad antirradical (AAr) de las pastas, fue necesario obtener un extracto previo a la cuantificación. El proceso de extracción de compuestos antioxidantes se realizó en muestras de pastas crudas y cocidas con la finalidad de observar el efecto de la cocción sobre la actividad antioxidante.

Para las muestras de pastas cocidas, se colocaron 15 g de pasta en 300 mL de agua hirviendo y se cocieron de acuerdo al tiempo de cocción que se determinó de las pruebas de cocción. La muestra cocida se escurrió, se enfrió y se congeló para ser liofilizada (Labconco, mod. Frezone 2.5, USA). Antes de ser analizadas, las muestras se molieron para reducir el tamaño de partícula e incrementar la eficiencia del proceso de extracción de los compuestos.

El proceso de extracción fue adaptado del método propuesto por Sultana *et al.* (2009), incluyendo algunas modificaciones. La muestra de pasta molida (1 g en base seca) se mezcló con 10 mL de solución de etanol: agua (80:20, v/v) y se colocó en un baño ultrasónico durante 30 minutos a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Finalmente, se filtró con ayuda de papel Whatman No. 5. Los extractos se almacenaron en frascos color ámbar y a temperatura de  $-5^\circ\text{C}$  hasta su posterior uso.

### 6.5.2 Contenido de Fenoles Totales (CFT)

La determinación de CFT se realizó por el método de Folin-Ciocalteu, según lo descrito por Chumark *et al.* (2008). Para ello, se mezclaron 100  $\mu$ L del extracto con 6 mL de agua destilada y se agitó con un equipo vortex durante 10 s. Posteriormente, se adicionaron 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y se mezcló nuevamente. Después de 5 min, a esta mezcla se adicionaron 1.5 mL de una solución acuosa de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% y nuevamente se agitó el contenido con el vortex. La mezcla se llevó a 10 mL con agua destilada.

La solución se dejó reposar durante 2 h en oscuridad a  $25 \pm 1$  °C y posteriormente se realizaron las lecturas espectrofotométricas (Perkin Elmer, mod. Lambda 25, Alemania) a 765 nm. La curva de calibración se construyó a partir de una solución stock de ácido gálico con el disolvente de extracción (etanol al 80%) a 1 mg/mL que se diluyó para obtener 0.8, 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 y 0.025 mg/mL. El blanco se preparó con todos los reactivos a excepción de la muestra que fue sustituida por el disolvente de extracción. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de base seca del extracto (mg EAG/100 g bs).

### 6.5.3 Evaluación de la actividad antirradical por ensayo DPPH

La determinación se realizó con 3.9 mL de solución de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) (concentración: 0.025 mg/mL MetOH) y 0.1 mL de extracto (que fue obtenido de la pasta de moringa), según lo descrito por Siddhuraju y Becker (2003). La mezcla se dejó incubar en la oscuridad durante 90 min a  $25 \pm 1$  °C. La absorbancia se midió a 517 nm en un espectofotometro (Perkin Elmer, mod. Lambda 25, Alemania). La solución de referencia se preparó con 0.1 mL de disolvente de extracción en lugar del extracto y 3.9 mL de solución de DPPH. La curva de calibración se construyó a partir de una solución stock de Trolox con el disolvente de extracción (etanol al 80%) a 1 mg/mL que se diluyó para obtener 0.8, 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 y 0.025 mg/mL. La referencia se preparó con todos los reactivos a excepción de la muestra que fue sustituida por el disolvente de extracción. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

El porcentaje de inhibición se calculó aplicando la Ec. 1 y los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de Trolox por cada 100 g de base seca del extracto (mg ET/100 g bs).

$$\%AAR = \left[ 1 - \frac{A_m}{A_R} \right] 100 \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde, AAR es la actividad antirradical,  $A_m$  la absorbancia de las muestras y  $A_R$  la absorbancia del blanco.

## **6.6 Evaluación de la calidad culinaria de las pastas**

Para conocer la calidad de las pastas, se hace uso de métodos con los cuales podemos determinar el grado de calidad culinaria de las pastas elaboradas.

### **6.6.1 Evaluación de las pastas crudas**

#### **6.6.1.1 Tiempo de cocción**

Se pesaron 10 g de pasta seca en piezas enteras de cada muestra (15 x 5 cm). Se introdujeron en un vaso de precipitado de 500 mL conteniendo 100 mL de agua hirviendo (sin adicionar sal), a partir del momento en que se vertió la pasta, cada 5 min se tomó una muestra de pasta y se procedió a verificar su cocción de la siguiente manera: la muestra de pasta se oprimió entre dos vidrios de reloj, la presencia de puntos blancos era señal de que la pasta no estaba cocida completamente, por lo que requería de mayor tiempo de cocción. Una vez que no se observaron puntos blancos, se registró el tiempo, el cual se tomó como tiempo de cocción (Hoseney, 1998; Kent, 1987). El tiempo de cocción se determinó por triplicado en cada una de las formulaciones (AACC 66-50.01, 1990).

#### **6.6.1.2 Porcentaje de sedimentación**

Se tomaron 10 g de pasta seca de cada una de las formulaciones y se cocieron de acuerdo al tiempo de cocción descrito previamente.

Finalizado el tiempo de cocción, se separó la pasta del agua de cocción con ayuda de un colador y el agua de cocción se homogenizó con ayuda de un agitador. Posteriormente se tomaron 10 mL del agua de cocción y se depositaron en una probeta de 10 mL, se dejó reposar por 3 h. Se determinó como porcentaje de sedimentación los mL que abarcó el sedimento blanco en la probeta. El resultado fue expresado en porcentaje (Becerra, 1985).

#### **6.6.1.3 Índice de tolerancia al cocimiento**

Se pesaron 10 g de muestra de pasta seca de cada una de las formulaciones y se cocieron de acuerdo a lo descrito anteriormente. Transcurrido el tiempo de cocción, se continuó la cocción hasta que se observaron 3 fragmentos de pasta rota, ese tiempo se tomó como el tiempo de desintegración de la pasta. El índice de tolerancia se calculó por diferencia de tiempo de cocción y el tiempo de desintegración de la pasta (Becerra, 1985).

## 6.6.2 Evaluación de las pastas cocidas

### 6.6.2.1 Ganancia de peso

Se pesaron 10 g de pasta de cada una de las formulaciones y se cocieron. Posteriormente, se depositaron en un embudo Buchner colocado sobre una probeta de 100 mL. Se dejó escurrir por 10 min y se pesó. La ganancia de peso se expresó en porcentaje y se calculó por diferencia entre el peso de la pasta seca y el peso de la pasta cocida y escurrida (Becerra, 1985).

### 6.6.2.2 Grado de hinchamiento

Para determinar el grado de hinchamiento de las pastas, primero se determinó el volumen de la pasta cruda de acuerdo a la metodología propuesta por Flores (1985). Se pesaron 10 g de pasta seca cortada en trozos pequeños, se depositaron en una probeta graduada de 100 mL que contenía 50 mL de agua destilada ( $V_{1ps}$ ). Se le aplicaron unos pequeños golpes para eliminar burbujas de aire que pudieran encontrarse presentes y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento del agua debido a la pasta ( $V_{2ps}$ ). Con los datos anteriores, se calculó el volumen de pasta cruda de acuerdo con la ecuación 2:

$$V_{ps} = (V_{2ps} - V_{1ps})$$

Ec. 2

Posteriormente, se determinó el volumen de la pasta cocida. El producto cocido y escurrido por 10 min, se colocó en una probeta graduada que contenía 50 mL de agua destilada ( $V_{1pc}$ ), se eliminaron las burbujas de aire de la probeta mediante pequeños golpes y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de agua debido a la pasta cocida ( $V_{2pc}$ ). Se calculó el volumen de la pasta cocida de acuerdo a la ecuación 3:

$$V_{pc} = (V_{2pc} - V_{1pc})$$

Ec. 3

Finalmente, el grado de hinchamiento (GH) se calculó empleando la ecuación 4.

$$GH = \left( (V_{pc} - V_{ps}) / V_{ps} \right) 100$$

Ec. 4

## 6.7 Determinación de la actividad de agua

La actividad de agua de las pastas crudas se determinó a  $25 \pm 1$  °C empleando un medidor de actividad de agua (AQUALAB, DECAGON, Devices, modelo Series 3). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

## 6.8 Determinación del color

El color de las pastas crudas se determinó con un colorímetro (Hunter Lab, mod. Mini Scan, U.S.A.) que emplea el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . El instrumento fue calibrado inicialmente con una teja blanca y una trampa de luz. Cada medición se realizó por triplicado. La información dada por  $L$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fue expresada como el color total de la muestra, donde  $L$  representa el grado de luminosidad o brillo,  $a^*$  la tendencia de rojo a verde y  $b^*$  la tendencia de amarillo a azul. Mediante cálculos matemáticos, estos valores fueron convertidos a hue ( $H^\circ$ ) y croma ( $C^*$ ), aplicando las ecuaciones 5 y 6:

$$H^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

Ec. 5

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

Ec. 6

## 6.9 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico de los resultados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, donde las variables a analizar fueron cada uno de los diferentes niveles de sustitución de harina de moringa. Se utilizó la prueba de Tukey con  $p < 0.05$ , empleando el software SAS 9.1.3.

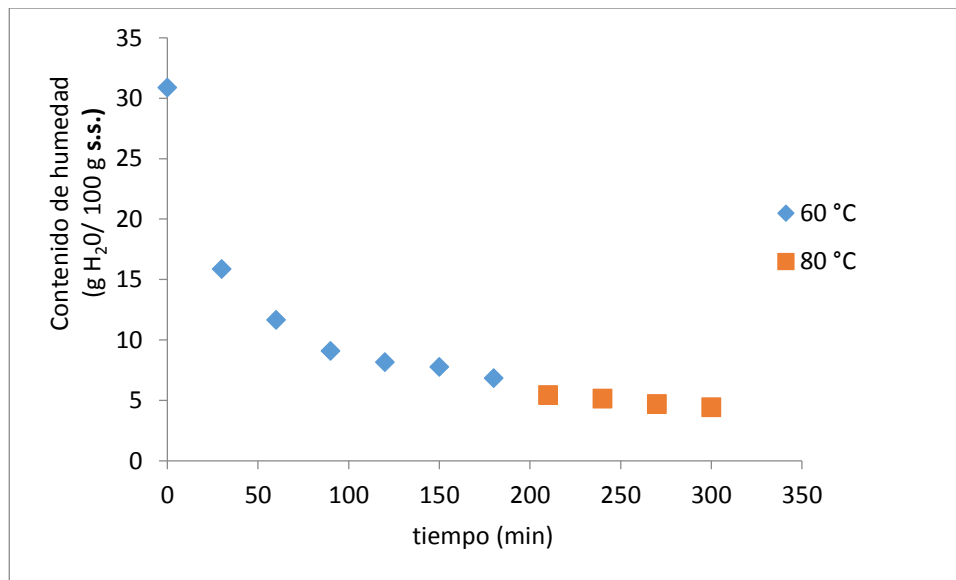
## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Cinética de secado de la pasta

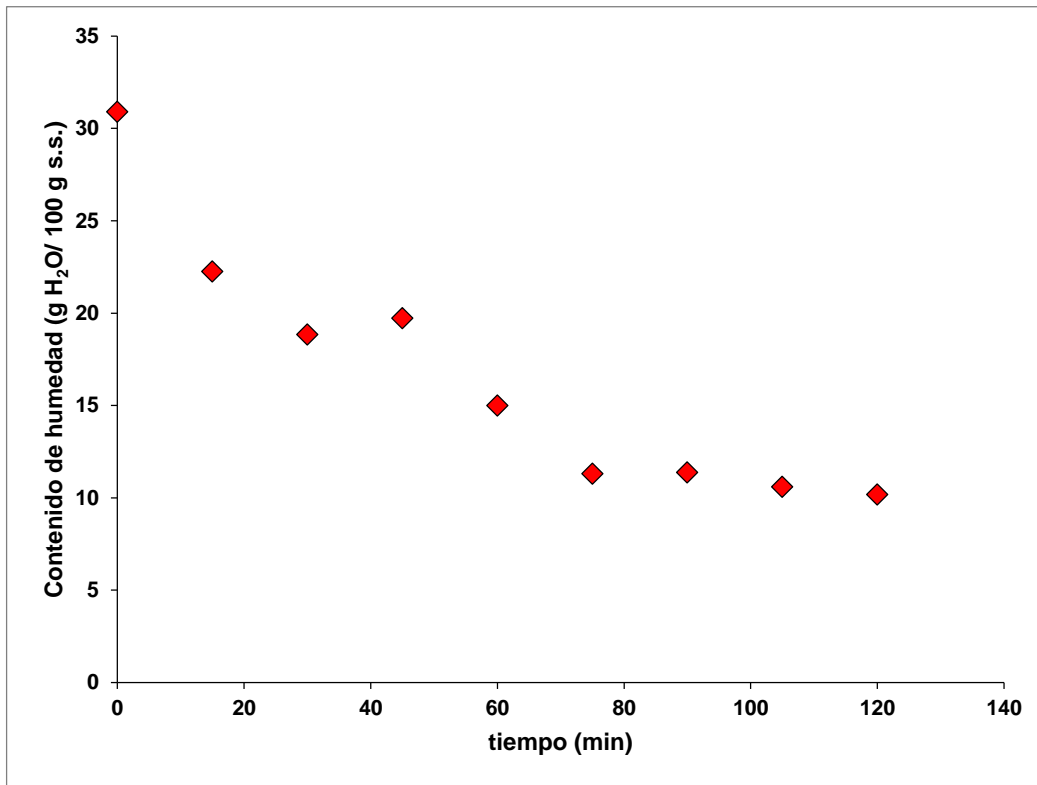
Dentro del proceso de fabricación de la pasta, la operación de secado constituye una etapa importante para la industria alimenticia ya que puede llegar a tomar entre 8 y 12 horas, dependiendo de las condiciones que el fabricante utilice durante el secado.

El proceso de secado de la pasta es un proceso delicado, puesto que si se hace de manera rápida, se corre el riesgo de solo secar la superficie de la pasta, formando una costra en la parte exterior ocasionando que la pasta continúe cruda y con una humedad alta en el centro del producto.

Como parte de los objetivos del presente trabajo se propuso establecer las condiciones para el secado de las pastas. Con lo observado en la figura 7, se utilizó un secado en rampas para eliminar el contenido de agua en la pasta, pero bajo estas condiciones, las pastas quedaban muy quebradizas, por ello de acuerdo con los resultados preliminares, se logró secar la pasta en un tiempo aproximado de 90 min a una temperatura de 40°C con una velocidad de aire de 1 m/s, estas condiciones de secado fueron obtenidas a partir de una cinética de secado realizada previamente. Los resultados de la cinética se muestran en la Figura 8.



**Figura 7.** Cinética de secado de la pasta (t=2.5 h, T= 60°C, flujo de aire 1 m/s; t=2.5 h, T= 80°C, flujo de aire 1 m/s)



**Figura 8.** Cinética de secado de la pasta (40°C flujo de aire 1 m/s)

Como se puede observar, un tiempo de 90 min fue suficiente para alcanzar un contenido de humedad de 12 % en las pastas, valor que se utiliza comúnmente como referencia en las normas de calidad para estos productos.

Las condiciones empleadas para secar las pastas elaboradas se indican en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Condiciones empleadas durante el proceso de secado de la pasta control y las diferentes formulaciones.

Parámetro	Formulaciones				
	Control	1 %	3 %	5 %	7 %
Tbh (°C)	35	35	33	37	32
Tbs (°C)	42	40	40	40	42
HR (%)	63	71	62	77	60
v (m/s)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
t (h)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Tbh= Temperatura de bulbo húmedo, Tbs= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad Relativa  
v= Velocidad de aire de secado, T= Tiempo

## 7.2 Composición química de las pastas

Uno de los objetivos principales del presente trabajo de investigación era mostrar el potencial de la harina obtenida a partir de hojas de *Moringa oleifera* para incrementar el aporte nutrimental de alimentos procesados como la pasta. Los resultados obtenidos de los análisis proximales confirman un mayor contenido de nutrientes en las pastas adicionadas con moringa en comparación con la pasta control. La composición química de las pastas crudas control y de las diferentes formulaciones adicionadas con harina de moringa se muestran en la Tabla 22.

Para la pasta control, la composición química promedio fue de 9.564, 5.391, 13.183 y 2.616 %, para humedad, proteína, lípidos y cenizas, respectivamente. Estos valores difieren con respecto al contenido de proteína, lípidos y cenizas reportados por otros autores para pastas de diferentes tipos (espaguetti, codito) elaboradas a base de semolina y/o adicionadas con otros ingredientes como almidón de plátano (Dick & Youngs, 1988; Manthey & Schorno, 2002; Hernández-Nava *et al.*, 2009), harina de amaranto (Cárdenas-Hernández, 2009), y harina de frijol (Gallegos-Infante *et al.*, 2010).

Las pastas comerciales, a base de trigo, reportadas por la USDA así como la pasta multigrano con amaranto de la compañía Orgran contienen 8% de proteína, 1.6% de lípidos y 3% de fibra, de manera que presentan valores de proteína y lípidos significativamente menores a los obtenidos para las pastas de esta investigación. Por otra parte, la composición química promedio de la pasta tipo lasaña conteniendo 1, 3, 5 y 7% de harina de moringa estuvieron en el rango de 8.713-6.874, 5.969-9.629, 8.645-7.809 y 2.751-3.137 %, para humedad, proteína, lípidos y cenizas, respectivamente.

**Tabla 22.** Composición química de las pastas crudas adicionadas con harina de Moringa oleífera

Tipo de Formulación	Porcentaje (g/100g s.s.)*			
	Humedad	Proteína**	Lípidos	Cenizas
Control	9.564±0.138 <sup>a</sup>	5.391±0.268 <sup>b</sup>	13.183±0.589 <sup>a</sup>	2.616±0.003 <sup>c</sup>
1%	8.713±0.081 <sup>b</sup>	5.969±0.097 <sup>b</sup>	8.645±0.623 <sup>b</sup>	2.751±0.028 <sup>cb</sup>
3%	8.752±0.040 <sup>b</sup>	6.337±0.334 <sup>b</sup>	9.567±0.217 <sup>b</sup>	2.781±0.027 <sup>b</sup>
5%	8.693±0.021 <sup>b</sup>	6.141±0.068 <sup>b</sup>	7.446±0.059 <sup>c</sup>	2.724±0.015 <sup>cb</sup>
7%	6.874±0.014 <sup>c</sup>	9.629±0.271 <sup>a</sup>	7.809±0.173 <sup>c</sup>	3.137±0.055 <sup>a</sup>

\*Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3, reportados en base seca

\*\*Nx 5.85

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con la prueba de Tukey

Con respecto al contenido de humedad, se determinó que el valor promedio de las formulaciones adicionadas con 3 y 5 % de harina de moringa no difieren significativamente de la pasta control ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, de manera general, el contenido de humedad disminuyó gradualmente a medida que se incrementó la adición de harina de moringa en las formulaciones. El contenido de humedad de las pastas adicionadas con harina de moringa fue mayor que aquellos reportados por otros trabajos sobre pastas tipo espagueti elaboradas a base de trigo, amaranto o adicionadas con harina de lupino (Rayas-Duarte et al., 1996) donde los valores se reportaron en el rango de 4.54 y 6.61 %, mientras que el contenido de humedad fue similar a los valores reportados por Hernández-Nava *et al.*, 2009 para espagueti adicionado con almidón de plátano en diferentes proporciones, cuyos contenidos de humedad fueron de 8.2-7.9 %. Por su parte, Ovando (2008) encontró un contenido de humedad en el rango de 9.62-4.95 % en pastas adicionadas con harina de plátano, valor que fue disminuyendo al incrementar la concentración de harina de plátano. Esto puede ser atribuido a la disminución en el contenido de proteína del trigo (gluten) ocasionando que la red proteica sea menor y por consiguiente aumente la eliminación del agua durante el proceso de secado. Pacheco-Delahaye (2001), reportó un contenido de humedad de 4.40 y 4.69% en sopas deshidratadas elaboradas a base de harina de plátano verde comparado con un valor de 6.61% en una sopa comercial. Los valores reportados por los autores se encuentran por debajo de los obtenidos en la elaboración de este trabajo, pero de una vez más se puede apreciar la tendencia a la disminución del contenido de humedad en los productos debido a la reducción en el contenido de sémola de trigo durum.

La Tabla 22 también muestra que de manera general, la adición de harina de moringa en las formulaciones produjo un incremento en el contenido de proteína y cenizas con respecto a la pasta control, mientras que simultáneamente provocó una disminución en el contenido de humedad y de lípidos. De acuerdo con lo anterior, el contenido de proteína no mostró diferencia significativa entre las formulaciones de 1, 3 y 5 % con respecto al control, sin embargo, la formulación de 7 % fue significativamente mayor con respecto a las anteriores, alcanzando un contenido de 9.62 % de proteína. De acuerdo a la norma NMX-F-023-S-1980, el contenido de proteína en pastas elaboradas a partir de sémola de trigo, deben ser mínimo de 8%, de manera que la pasta con un nivel de sustitución del 7% fue la única muestra que superó el límite mínimo indicado por la norma mexicana.

El contenido de cenizas incrementó de 2.61% a 3.13% con la adición de harina de *Moringa oleífera*. Goñi *et al.*, 2003 observaron la misma tendencia en pasta tipo espagueti elaborada con sémola de trigo y adicionada con harina de garbanzo (2.60%). El mismo comportamiento se observó en pastas tipo espagueti elaboradas con sémola y suplementadas con harina de lupino libre de  $\alpha$ -galactósidos (0.56% a 1.08%) (Torres *et al.*, 2007). A su vez, Ovando (2008) reportó un aumento en el contenido de cenizas (0.97% a 1.83%) con la adición de harina de plátano en las pastas. Hernández-Nava *et al.* (2009), reportaron valores de 0.84-0.77 % para el contenido de cenizas en pasta tipo espagueti control y diferentes formulaciones adicionadas con almidón de plátano. En todos los casos, los valores de contenido de cenizas reportados por estos autores son menores a los encontrados en esta investigación. Demostrando que al utilizar harina de moringa oleífera aumentamos el contenido de ceniza para las pastas.

Con respecto al contenido de lípidos presentes en las muestras, se observó una disminución a medida que se incrementó la cantidad de harina de moringa adicionada. Esto podría atribuirse a la disminución de la proteína del trigo en los diferentes niveles de sustitución, ocasionando una menor formación del complejo amilosa-lípido, el cual se ha relacionado con la disminución del contenido de lípidos y aumento en la fracción del almidón. (Juarez-Garcia *et al.*, 2006). Estos valores son similares a los reportados por Torres *et al.*, 2007, para muestras de pastas elaboradas con 100 % de sémola de trigo y suplementadas al 8 y 10 % con harina de lupino libre de  $\alpha$ -galactósidos. Por otra parte, es importante considerar que el contenido de lípidos significativamente menor en las pastas adicionadas con harina de moringa puede tener un impacto importante en la estabilidad y vida de anaquel de estos productos.

## 7.2.1 Composición química de las pastas cocidas

Las pastas cocidas se escurrieron y se congelaron para posteriormente ser liofilizadas (0.018 mbar, -5°C) durante 14 h, con el propósito de reducir el contenido de agua ganado durante el proceso de cocción y poder realizar las determinaciones correspondientes. En la Tabla 23 se muestra la composición química de las pastas cocidas.

**Tabla 23.** Composición química de las pastas cocidas adicionadas con harina de *Moringa oleífera*

Tipo de Formulación	Porcentaje (g/100g s.s.)*			
	Humedad	Proteína**	Lípidos	Cenizas
Control	7.384±0.099 <sup>c</sup>	2.553±0.020 <sup>d</sup>	6.703±0.284 <sup>a</sup>	1.200±0.063 <sup>b</sup>
1%	8.712±0.109 <sup>b</sup>	3.806±0.192 <sup>c</sup>	7.628±0.002 <sup>a</sup>	1.242±0.043 <sup>b</sup>
3%	9.185±0.578 <sup>a</sup>	4.928±0.172 <sup>b</sup>	8.015±0.432 <sup>a</sup>	1.728±0.005 <sup>a</sup>
5%	4.120±0.397 <sup>d</sup>	5.751±0.085 <sup>b</sup>	7.329±0.000 <sup>a</sup>	1.201±0.010 <sup>b</sup>
7%	8.086±0.878 <sup>b</sup>	7.188±0.015 <sup>a</sup>	6.655±0.042 <sup>a</sup>	1.939±0.010 <sup>a</sup>

\*Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3, reportados en base seca

\*\*Nx 5.85

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con la prueba de Tukey

De manera general se puede observar que el proceso de cocción produce una reducción significativa del contenido de proteína, lípidos y cenizas.

Con respecto al contenido de cenizas, podemos observar que el proceso de cocción redujo aproximadamente el 50 % del contenido de cenizas presente en las pastas antes de la cocción. Al igual que con las pastas crudas, en las pastas cocidas podemos observar que la pasta de 7% tiene el mayor contenido de cenizas en las muestras, como consecuencia de un mayor porcentaje de adición de harina de *Moringa oleífera*. Sin embargo, de manera general, el contenido de cenizas que permanece después de la cocción en todas las formulaciones son superiores a los reportados por otros autores (Goñi *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2007; Hernández-Nava *et al.*, 2009) en diferentes tipos de pasta, lo que se sugiere un mayor aporte de minerales en este producto.

## 7.3 Propiedades fisicoquímicas de las pastas crudas

### 7.3.1 Actividad de agua ( $a_w$ )

La actividad de agua ( $a_w$ ) es una de las herramientas más importantes en la predicción de la estabilidad de los alimentos. La velocidad de muchos cambios deteriorativos se ha relacionado con este parámetro, ya que determina el agua que en un determinado momento se encuentra disponible para el crecimiento microbiano y el progreso de diferentes reacciones químicas y bioquímicas.

Para cada alimento particular hay un periodo de tiempo determinado, después de su producción, durante el cual mantienen el nivel requerido de sus cualidades sensoriales y de seguridad, bajo determinadas condiciones de conservación. La duración de la vida útil de un alimento dado depende de un número de factores, como método de procesado, de envasado, y condiciones de almacenamiento.

En la Tabla 24 se muestran los resultados de actividad de agua encontrada en las diferentes formulaciones de pasta.

**Tabla 24.** Actividad de agua de la pasta control pastas adicionadas con harina de moringa

Muestra	$a_w$
Control	0.622±0.000 <sup>b</sup>
1%	0.595±0.001 <sup>c</sup>
3%	0.646±0.000 <sup>a</sup>
5%	0.652±0.002 <sup>a</sup>
7%	0.488±0.000 <sup>d</sup>

\*Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3, reportados en base seca  
Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con la prueba de Tukey

En los trabajos publicados sobre elaboración de pastas de diferentes tipos y formulaciones no se reportan valores de actividad de agua para los productos obtenidos, sin embargo, de manera general se puede observar que los valores de  $a_w$  de las pastas obtenidas en este trabajo se encuentran en el rango de 0.652-0.488, los cuales coinciden con el dato de  $a_w$  de 0.6-0.5 reportado para alimentos de baja actividad de agua como las pastas. La  $a_w$  de las formulaciones 1, 3 y 5% no presentaron diferencia significativa con respecto al control, sin embargo, para la formulación de 7 % se observó una reducción en el valor de  $a_w$  de las pastas.

### 7.3.2 Color

El color final de la pasta está influenciado por las características físicas de la sémola utilizada en su elaboración, así como de las propiedades y tipos de ingredientes empleados en la formulación.

En la industria de la pasta generalmente se usan técnicas para determinar el color que emplear los valores triestímulo L, a\* y b\*, o una combinación de los mismos. El espacio CIELAB permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional. El eje \*L representa la luminosidad y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas a\* y b\*, representan la variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente.

En la Tabla 25 se muestran los parámetros empleados para evaluar el efecto de la adición de harina de moringa sobre el color de las diferentes formulaciones de pastas elaboradas.

**Tabla 25.** Color de la pasta control y de las pastas adicionadas con harina de moringa

Tipo de Muestra	Parámetros de color				
	L	a*	b*	C*	H°
Control	72.146±0.076 <sup>a</sup>	5.963±0.037 <sup>a</sup>	26.553±0.079 <sup>bc</sup>	27.214±0.127 <sup>ba</sup>	77.330±0.034 <sup>c</sup>
1%	65.7960.0138± <sup>b</sup>	1.726±0.148 <sup>b</sup>	26.980±0.061 <sup>bac</sup>	27.037±0.124 <sup>ba</sup>	86.330±0.061 <sup>b</sup>
3%	62.546±0.1739 <sup>c</sup>	-1.020±0.176 <sup>c</sup>	28.683±0.285 <sup>a</sup>	28.768±0.305 <sup>a</sup>	92.025±0.188 <sup>a</sup>
5%	56.576 <sup>d</sup> ±0.173	-1.473±0.171 <sup>c</sup>	28.573±0.287 <sup>a</sup>	28.624±0.311 <sup>a</sup>	93.385±0.191 <sup>a</sup>
7%	46.230±0.101 <sup>e</sup>	-1.699±0.328 <sup>c</sup>	25.586±0.102 <sup>c</sup>	25.629±0.211 <sup>b</sup>	93.289±0.114 <sup>a</sup>

Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3,

Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con la prueba de Tukey

**Tabla 26.** Continuación

Tipo de muestra	Parámetros de color	
	$\Delta L$	$\Delta C^*$
Control		
1%	-6.35	-6.35
3%	-9.6	-9.6
5%	-15.57	-15.57
7%	-25.916	-25.916

La Tabla 25 muestra que la luminosidad (L) de la pasta tipo lasaña disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) a medida que la concentración de harina de moringa se incrementó en

el producto, en sustitución de la semolina de trigo. En los niveles más bajos de adición de harina de moringa de 1 y 3 %, los valores no variaron significativamente ( $p < 0.05$ ). Los valores para L obtenidos en las pastas adicionadas con harina de moringa de 1-7 % estuvieron en el rango de 65.796-46.230. Estos valores de L fueron mayores a los determinados en pastas tipo espagueti adicionados de 5-20 % con harina de chícharo, garbanzo y lenteja reportados en el rango de 50.95-44.42, 53.21-50.76 y 50.81-45.92, respectivamente (Zhao *et al.*, 2005) y menores a los reportados por Hernández-Nava *et al.* (2009), para pasta tipo espagueti adicionada con almidón de plátano de 5-20 %, donde se observaron resultados de 87.46-80.32 para el parámetro L. De acuerdo con los resultados, es posible observar que cuando se sustituye parcialmente la semolina de trigo por varios ingredientes alimenticios se observa un efecto importante sobre este parámetro de color. Con respecto a los valores de  $a^*$ , valores negativos indican que predomina el color verde mientras que valores positivos indican una tendencia hacia el color rojo en las muestras; como era de esperarse, los valores de  $a^*$  encontrados en las formulaciones adicionadas con harina de moringa son negativos, a diferencia de la pasta control, lo que indica que el color de las pastas se aproxima al verde a medida que se incrementa la adición de harina de moringa en las formulaciones. Lo anterior coincide con lo esperado, ya que la harina de moringa posee un color verde oscuro debido a la presencia de pigmentos (clorofila) y al incrementar su contenido en las formulaciones, el color verde de las torillas se intensifica. Los valores positivos del parámetro  $b^*$ , indican que el color de las pastas se aproximan al tono amarillo.

Además del valor L, también se determinaron los valores de  $C^*$ ,  $H^o$ ,  $\Delta L$  y  $\Delta C^*$  (tabla 26) para evaluar la diferencia de color causada por la adición de harina de moringa en las diferentes formulaciones en comparación con la pasta control elaborada únicamente con semolina y harina de trigo. Se determinó que los valores de  $\Delta L$  incrementaron significativamente ( $p < 0.05$ ) y negativamente a medida que se incrementó la adición de harina de moringa de 1 a 7 %, mientras los valores de  $\Delta C^*$  fueron similares para las formulaciones de 1 y 3 %. En el caso del parámetro  $\Delta L$ , el incremento en el valor negativo indica que el color de la pasta adicionada con harina de moringa fue más oscuro que el de la pasta control para todos los niveles de sustitución. De manera similar, el incremento en el valor negativo del parámetro  $\Delta C^*$  indica que el color de la pasta adicionada con harina de moringa fue menos saturado que la pasta control. Un comportamiento similar fue reportado por Hernández-Nava *et al.* (2009) al evaluar el color de la pasta tipo espagueti adicionado con almidón de plátano, encontrando que al incrementar la sustitución de semolina de trigo por el almidón de plátano en las diferentes formulaciones, se obtuvieron pastas más oscuras y con un color menos saturado que la pasta control. De acuerdo con lo observado, se podría sugerir que el uso de los parámetros  $\Delta L$  y  $\Delta C^*$  en combinación con L, podrían ser parámetros adecuados a determinar para evaluar el efecto de la adición de ingredientes alimenticios sobre las características generales de color en diferentes productos de pasta.

## 7.4 Evaluación de la calidad culinaria de las pastas

La calidad culinaria de una pasta puede ser interpretada de diferentes formas, de acuerdo a los hábitos culinarios de los consumidores; debido a esto, las pruebas para evaluarla varían de un país a otro, incluso dentro de un mismo país (Kill & Turnbull, 2004).

### 7.4.1 Tiempo de cocción

El proceso de cocción para un alimento es una etapa fundamental. El tiempo de cocción en una pasta es el tiempo necesario para obtener una completa gelatinización del almidón (Tudorica *et al.*, 2002). Los tiempos de cocción para lograr una pasta “al dente” tanto en la pasta control como en las formulaciones adicionadas con harina de moringa de 1 a 7 % fueron de 10 a 12 min, siendo mayor el tiempo de cocción para las formulaciones de 5 y 7 %. Contrario a lo reportado por Torres *et al.* (2007), quienes observaron una disminución del tiempo de cocción en espaguetis adicionados con harina germinada de gandul al 5, 8 y 10%, indicando que a un nivel más alto de sustitución, el tiempo de cocción disminuye. En nuestro caso, esta diferencia que reportamos se puede atribuir a la disminución del contenido de sémola de trigo y al aumento de la harina de moringa. De acuerdo con Kent (1987), una pasta debe ganar el doble de su peso a los 10 min de ser hervidos con agua y mantener su forma y firmeza sin adquirir un aspecto pegajoso ni desintegrarse; lo cual concuerda con nuestros resultados (Tabla 26). La ganancia de peso se encontró dentro de lo esperado, los aumentos del volumen fueron altos, y difieren poco en relación con la lasaña elaborada con sémola y harina de trigo (70:30).

**Tabla 27.** Pruebas de cocimiento de la pasta.

Tipo de Formulación	Tiempo de cocción (min)	% de sedimentación	*Índice de tolerancia al cocimiento (min)	Grado de Hinchamiento (%)	Ganancia de peso (g/40 g)
Control	10	26.66	60	27.27	125
1%	11	20.66	60	33.33	105
3%	10	22.66	170	63.63	103
5%	12	17.66	160	57	117
7%	12	33.33	160	50	131

Resultados expresados en porcentaje a partir de 40 gramos de muestra

\*Hasta la destrucción de la pasta

#### 7.4.2 Pérdidas por cocción

La cocción es el principal atributo de calidad en una pasta por parte de los consumidores. Es en el proceso de cocción donde la pasta debe mantener su forma sin desintegrarse, sin embargo, pequeñas cantidades de material sólido son liberadas al agua de cocción (Cole,1991). Estas pérdidas por cocción son usualmente usadas para predecir la calidad de cocción del espagueti. Los valores relacionados con las pérdidas por cocción son el porcentaje de sedimentación (Tudorica *et al.*, 2002). Haciendo una consideración con respecto a este sentido, se observó que el almidón de la pasta se hidrató, y por el contenido proteico de la pasta adicionada con harina de moringa, se formó una matriz proteica lo suficientemente fuerte para retener parte del almidón gelatinizado. Todas las pastas elaboradas durante este trabajo, permanecieron en piezas enteras y mostraron firmeza adecuada “al dente” al ser cocinadas como lo especifica Dendy y Dobraszczyk (2001).

#### 7.5 Contenido de Fenoles Totales y Actividad Antirradical

Para la determinación de fenoles totales realizada en las pastas, todas las formulaciones mostraron mayor contenido de fenoles que la muestra de pasta control (70:30 semola: Harina de trigo). La tendencia muestra que a mayor contenido de harina de *Moringa oleífera* se aumenta el contenido de compuestos fenólicos en la pasta. Siendo la pasta con una concentración de 7% la que mostró un mayor contenido de fenoles totales (Tabla 24). En general, se ha reportado que los productos derivados de los cereales aportan muy poca cantidad de compuestos fenólicos, ya que éstos se pierden durante la refinación (Cardenas, 2008), por lo tanto, la adición de harina de moringa explica el incremento del contenido de fenoles totales. En este sentido; al considerar que se ha demostrado en diferentes trabajos de investigación las propiedades antirradical (Srrelatha y Padma, 2009; Moyo *et al.*, 2012; Shih *et al.*, 2011), Antitumoral (Guevara *et al.*, 1999), de las hojas de moringa, que se atribuyen principalmente al contenido significativo de compuestos fenólicos (Meena *et al.*, 2011; Roloff *et al.*, 2009); podemos afirmar que se ha obtenido un producto con propiedades funcionales.

Sin embargo, nuestros resultados sugieren que el proceso de cocción produce una reducción en el contenido de fenoles de las pastas de moringa, concordando con la característica termosensible de distintos compuestos fenólicos, por ejemplo, las isoflavonas genisteína y daidzeína presentan degradación térmica de primer orden (Ungar *et al.*, 2003). Por otro lado, al elaborar la pasta con una concentración de 3% de harina de moringa se presenta una pérdida menor significativa ( $p < 0.05$ ) de compuestos fenólicos debido a la cocción (Tabla 24), esto se puede

atribuir a la matriz proteica de la pasta y a la presencia del gluten, disminuyendo las posibles lixiviaciones y descomposición térmica de compuestos fenólicos.

En la prueba de capacidad antirradical (DPPH) se observó un incremento en la capacidad antirradical con la adición de harina de *Moringa oleífera* en la pasta cruda (Tabla 25). Esto concuerda con el hecho de que el porcentaje de la inhibición de radicales libres es proporcional al contenido de compuestos bioactivos con capacidad antirradical (Prior *et al.*, 2005). Nuestros resultados demuestran que existe una correlación entre el contenido de fenoles totales y la actividad antirradical, concordando con lo discutido por Moyer *et al.* (2001), Camire *et al.* (2002) y Fazaeli *et al.* (2012). Para las pastas cocidas se observó una disminución de compuestos antirradicales; esto se le atribuye a la degradación de las sustancias fenólicas que está asociada con la aparición de reacciones de oxidación inducidas por el calor (Georgetti *et al.*, 2008); al realizar la cocción de la pasta a temperatura de ebullición, era de esperar que el contenido de compuestos con actividad antirradical disminuyera. La retención de los compuestos antioxidantes fue mayor al utilizar 7% de sustitución.

**Tabla 28.** Contenido de compuestos fenólicos en pastas crudas y cocidas.

Muestra	mg Ácido Gálico/g de pasta cruda en base seca	mg Ácido Gálico/ g de pasta cocida en base seca	Pérdida de compuestos fenólicos por cocción (%)
Control	0.118±0.002 <sup>e</sup>	0.046±0.003 <sup>e</sup>	61.1
1%	0.134±0.001 <sup>d</sup>	0.083±0.000 <sup>d</sup>	38.1
3%	0.155±0.000 <sup>c</sup>	0.129±0.003 <sup>c</sup>	16.8
5%	0.187±0.001 <sup>b</sup>	0.152±0.001 <sup>b</sup>	18.8
7%	0.293±0.001 <sup>a</sup>	0.190±0.001 <sup>a</sup>	35.2

Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3, reportados en base seca  
 Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0.05) con la prueba de Tukey

**Tabla 29.** Contenido de antioxidantes en pastas crudas y cocidas.

Muestra	mg ET/g pasta cruda en base seca	mg ET/g de pasta cocida en base seca	Retención de AAr (%)
Control	1.594±0.046 <sup>e</sup>	1.079±0.022 <sup>e</sup>	67.69
1	2.806±0.051 <sup>d</sup>	2.097±0.063 <sup>d</sup>	74.73
3	4.728±0.020 <sup>c</sup>	4.431±0.060 <sup>c</sup>	93.71
5	6.866±0.075 <sup>b</sup>	6.414±0.044 <sup>b</sup>	93.41
7	11.152±0.002 <sup>a</sup>	10.507±0.236 <sup>a</sup>	94.21

Los valores corresponden a la media ± error estándar, n=3, reportados en base seca  
Letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con la prueba de Tukey

Cárdenas (2008) reporta un comportamiento muy distinto a lo observado en el presente trabajo, observó un ligero incremento en la capacidad antirradical (para algunas formulaciones con ingredientes de amaranto) una vez sometidas a cocción. De acuerdo a lo reportado por Cárdenas (2012) en la medición de antioxidantes en pastas enriquecidas con harina de amaranto, los valores reportados son para pastas crudas de 0.10-0.13 mg eq Trolox/ g de pasta cruda y para pasta cocida de 0.092-0.011 mg eq Trolox/ g de pasta cocida; siendo en cuatro proporciones (50:50, 65:35, 45:55, 65:35 Harina de amaranto; hoja de amaranto) en los cuales se observa un aumento del contenido de compuestos con actividad antirradical al momento de la cocción. Sin embargo, la actividad antirradical que reportamos es 10 veces más que lo reportado por Cárdenas (2008).

## VIII. CONCLUSIONES

- El porcentaje de sustitución de harina de *Moringa oleífera* utilizada en la elaboración de las pastas, fueron un factor estadísticamente significativo sobre las variables que se estudiaron, se mostro una influencia favorable en la calidad de la pasta debido a la sustitución con harina de moringa .
- El contenido de proteínas no mostró diferencia significativa entre las formulaciones con 1, 3 y 5 % de harina de moringa. En el caso de la formulación del 7% era de esperar un aumento por la adición de harina de *Moringa oleífera*.
- El contenido de humedad, lípidos redujeron su porcentaje a medida que en la concentración de harina de Moringa iba aumentando, caso contrario para el contenido de cenizas en el cual a medida que aumento el nivel de sustitución de harina de Moringa, aumento el contenido de cenizas en los análisis proximales.
- Las pruebas de calidad de las pastas (tiempo de cocción, ganancia de peso, % de sedimentación, índice de tolerancia al cocimiento) no mostraron diferencia entre ellas.
- La actividad de agua en las pastas se vio reducido a medida que aumentaba el contenido de harina de Moringa.
- La prueba del contenido de fenoles totales muestra para pastas crudas un aumento en la concentración de compuestos fenólicos con forme de aumento la cantidad de harina de *Moringa oleífera* en las pastas, así pues las pastas cocidas mostraron una alta capacidad de retención de estos compuestos

## IX. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas microbiológicas para determinar la inocuidad de las pastas.
- Hacer pruebas de textura para determinar su capacidad reologica.
- Desarrollar pruebas de análisis sensorial con un panel de jueces experimentados para determinar el grado de aceptación de las pastas por parte de los consumidores.
- Realizar pruebas *in vivo* para conocer el efecto de las propiedades de las pastas en el consumidor.

## X. BIBLIOGRAFIA

1. AACC, 2001. (American Association of Cereal Chemists). Approved Laboratory Methods of the Association. 8th. Ed. St. Paul Minn. U.S.A.
2. Aalami, M., Leelavathi. K., and Prasada Rao, U.J.S. (2007). Spaghetti making potential of Indian *durum* wheat species in relation to their protein, yellow pigment and enzyme contents. *Food Chemistry*, 100: 1243–1248.
3. Acosta K. 2007. Elaboración de una Pasta Alimenticia a Partir de Sémolas de diferentes variedades de cebada. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería; Trabajo de Investigación para optar el Título de Químico.
4. Amaglo, N.K., Bennett, R.N., Lo Curto, R.B., Rosa, E.A.S., Lo Turco, V., Giuffrida, A., Curto, A.L., Crea, F. y Timpo, G.M. 2010. Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleífera* L., grown in Ghana. *Food Chem.* 122(4): 1047-1054.
5. American Association of Cereal Chemistry. 1983. Cereal Laboratory Methods, Edit AACC St Paul Min. USA.
6. Antognelli, C. 1980. The manufacture and applications of Official Analytical Chemistry. Washintong, D.C. EEUU. 1298 pp.
7. Anwar, F., Siddiq, A., Iqbal, S. and Asi, M. R. 2007. Stabilization of sunflower oil with *Moringa oleifera* leaves undes ambient storage. *J. of Foods Lipids*. 14: 35-49.
8. AOAC, 1980. Official Methods of Analysis. Thirteenth edition. Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., U.S.A.
9. Apró, N., Rodriguez, J., Gomatti, C., Cuadrado, C., Secreto, P., 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. Jornadas de Desarrollo e Innovación. Argentina.
10. Arabshahi-D, S., Vishalakshi, D. D. and Urooj, A.2007. Evaluation of antioxidant activity of some plan extracts and their heat, pH and storage stability. *Food Chemisty*. 100: 1100-11005.
11. Aranceta, J. Serra, Luis. 2003. Obesidad infantil y juveni en España. Resultados del Estudio en Kid (1998-200). *Medicina Clinica* 121(19).
12. Aranceta. J. 2010. Alimentos funcionales y salud en las etapas infantil y juvenil. Asociación española de pediatría. España
13. Araya L. H. y Lutz R. M. 2003. Alimentos funcionales y saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30, 8-14.
14. ASERCA, 2003. Claridades agropecuarias: la cebada en la agricultura nacional.

15. Astaiza, M., Ruiz, I., Elizalde, A. 2010. Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa wild*) y zanahoria (*Daucus carota*). En: Revista en Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 8,1: 43-53.
16. Badui Dergal, S. 2006. Cuarta edición. Química de los alimentos. Pearson Educación, México. pág. 541-542.
17. Becerra, A.P. 1985. Estudio del efecto de la uniformidad de tamaño de partícula de la semolina de trigo sobre los atributos de calidad de la pasta alimenticia, formato spaghetti. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura.
18. Bergman C, Gualberto D, Weber C .1994. Development of high-temperature-dried soft wheat supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp*) Cooking quality, color and sensory evaluation. *Cereal Chem.* 71: 523-527
19. Burns, J., Fraser, P.D. y Bramley, P.M. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62(6):939-947.
20. Caceres, A., Saravia, A., Rizzo, S., Zabala, L., Leon, E.D. y Nave, F. 1992. Pharmacological properties of *Moringa oleifera* 2: screening for antispasmodic, anti-inflammatory and diuretic activity. *J. Ethnopharmacol.* 36:233-237.
21. Cárdenas Hernández, Alexandra del Socorro. 2012. "Composición química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
22. Charley, Helen. 1990. Preparación de Alimentos, su tecnología. México. Ediciones orientación.
23. Charley, Helen. 1991. Tecnología de Alimentos. Procesos Físicos y Químicos. Ed. Acribia. España.
24. Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P., Phivthong-ngam, L., Ratanachamng, P., Srisawat, S. and Pongrapeeporn, K. S. 2008. The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antioatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam Leaves. *Journal of Ethnopharmacology.* 116:439-446.
25. Cubadda, R., Carcea, M., and Pasqui, L. (1992). Suitability of the gluten index test for assessing gluten strength in *durum* wheat and semolina. *Cereal Foods World*, **37**: 866–869.
26. Dendy, D. A. V., Dobraszczyk, B. J. 2003. Cereales y productos derivados, química y tecnología. Editorial Acribia, S.A. España. P.403-421.
27. Douglass, J.S. and Matthews, R.H. 1982. Nutrient content of pasta products, *Cereal Foods World* **27**: 558–561.
28. El Khalifa, A.E.O., Ahmed, S.A.A y Adam, S. 2007. Nutritional evaluation of *Moringa oleifera* leaves and extract. *Ahfad J.* 24:113-122.

29. Escamilla, E. A. 2001. Métodos para evaluar la calidad de trigos cristalinos, (*Triticum durum*) semolinas y pastas alimenticias. Tesis de Licenciatura de la Universidad Natural Autónoma de México.
30. Faizi, S., Siddiqui, B.S., Saleem, R., Siddiqui, S., Aftab, K. and Gilani, A. H. 1995. Fully acetylated carbamate and hypotensive thiocarbamate glycosides from *Moringa oleifera*. *Phytochemistry* 38:957-968.
31. Falasca, S.L. y Bernabé, M.A. 2009. Zonificación agroclimática de la moringa (*Moringa oleifera*) en Argentina para producir biodisel y bioetanol. P. 11.65-11.370.
32. FECYT, 2005. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Alimentos Funcionales. Madrid, FECYT, 2005.
33. Feillet Pierre. 1984. Conocimiento actual sobre bioquímica de la calidad culinaria de las pastas. Montpellier. INRI. 551-566.
34. Fennema. O. 2010. Química de los alimentos. Ed. Acribia
35. Fuad, T. and Prabhasankar, P. 2010. Role of Ingredients in Pasta Product Quality: A Review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50: 787-798.
36. Funglie, E. N. & Meyer, A. S. 2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80: 1925-1941.
37. Ghasi, S. Nwobodo, E., Ofili, J.O. 2000. Hypocholesterolemic effects of crude extract of leaf of *Moringa oleifera lam*. In high-fat die fed wistar rats. *Journal of Ethopharmacology*. 69:21-25.
38. Gidamis, A., Panga, J., Sarwatt, S., Chove, B. & Shayo, N. 2003. Nutrients and antinutrients contents in raw and cooked leaves and mature pods of *Moringa oleifera* Lam. *Ecology and Food Nutrition*. 42: 1-13.
39. Gil, A. 2010. Tratado de nutrición. Tomo II. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Ed. Médica Panamericana. Madrid.
40. Goesaert, H., Bris, K., Veraberbeke, W.S., Courtin, C. M., Gebrues, K. And Delcour, J.A. 2002. Wheat flour constituents: how the impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16:12-30.
41. Gómez, E., Guerra, M., Arias, J., Mujica, D., Guerrero, F. 2011. Elaboración de una pasta de harina compuesta utilizando sémola e hidrolizado de germen desgrasado de maíz (*Zea mays L.*). En: *Rev. Venezolana de ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2(1): 073-084.
42. Goñi I. And Valentin-Gamazo C. 2003. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers. *Food Chemistry*, 81, 511-515.

43. Gopalan, C., Rama Sastri, B. V. and Balasubramanian, S. C. 1971. Nutritive value of Indian foods. Hyderabad, India: (National Institute of Nutrition) (revised and updated by Narasinga Rao, B. S. Deosthale, Y. G. and Pant, K. C.
44. Grandfeldt, Y., Björck, I., Drews, A and Tovar, J.1992. An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. European Journal of Clinical Nutrition. 46, 649-660.
45. Granito, M., Torres, A., Guerra, M. 2003. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, Maíz, Yuca y Frijol. Interciencia. 28(7): 372- 379
46. Guler, S., Koksel, H.2005. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. Food Research International, 35(5), 421–427.
47. Hernández N. R. 2006. Elaboración de espagueti adicionado con almidón de platano: caracterización física, química nutricional y de calidad. Tesis de maestría. CEPROBI-IPN, México.
48. Herrera, M.C. y Luque de Castro, M.D. 2005. Ultrasound –assisted extraction of phenolic compounds from strawberries prior to liquid chromatographic separation and photodiode array ultraviolet detection. J. Chromatogr. An 1100(1):1-7.
49. Holm J., Bjorck I., Asp. N. G., Sjoberg L. B. and Lundquist I. 1985. Starch availability in vitro an in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. Journal of Cereal Science, 3:193-200.
50. Hosney, R. C. 1998. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España.
51. INCONTEC internacional. 2004. Ntc 1055. Productos De Molinería. Pastas Alimenticias.
52. Iqbal S. and Bhangar, M. I. 2006. Effect of season and production location on antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves grown in Pakistan. Journal of Food Composition and Analysis. 19:544-551.
53. Jagadheesan, P., Mugilan, V., Kannan, V. and Stalin, V. 2011. A comparative study of *Moringa oleifera* in native wet and dry habitats of Muthagoundanoor, Salem District, Tamil Nadu. The IUP Journal of Life Sciences. 5:21-39.
54. Jenkis DJA, Jenkins AL, Wolever TMS, Collier GR, Rao AV, Thompson LU. 1987. Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. Scandinavian Journal of Gastroenterology, 22: 131-141.
55. Jomova, K., Lawson, M. y Gala, L. 2012. Prooxidant effect of lycopene on triglyceride oxidation. JMBFS 1:942-948.
56. Juárez-García, E., Agama-Acevedo, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Rodríguez-Ambríz, S. L. and Bello-Pérez L. A. 2006. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. Plant Food for Human Nutrition, 61, 131-137.

57. Jungnungchok, S., Bunranthep, S. and Songsak, T. 2010. Nutrients and minerals content of eleven different samples of *Moringa oleifera* cultivated in Thailand. *Journal of Health Research*. 24: 123-127.
58. Kent, N.L. 1987. *Tecnología de los cereales (introducción para estudiantes de ciencias de los alimentos y agricultura)*. p.73-93, 149-151.
59. Khoo, H.E., Ismail, A., Mohd-Esa, N. y Idris, S. 2008. Carotenoid content of underutilized tropical fruits. *Plant Food Hum. Nutr.* 63(4): 170-175.
60. Kill, R. C., Turnbull, K. 2001. *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola*. Acribia. Zaragoza, España. 1-9, 93-126.
61. Kohen, R. y Gati, I. 2000. Skin low molecular weight antioxidants and their role in aging and oxidative stress. *Toxicol.* 148(2):149-157.
62. Kruger, J., Matsuo, R., Dick, J. 1996. *Pasta and Noodle Technology*, 1stEd. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
63. Kruger, J., Matsuo, R., Dick, J. 1996. *Pasta and Noodle Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
64. Lockett, C.T., C.C. Calvert and L.E. Grivertti. 2000. Energy and micronutrient composition of dietary and medicinal wild plants consumed during drought. Study of rural Fulani, northeastern Nigeria. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 51(3):195-208.
65. Lorenz, 1991.
66. Lorenz, K.J.; 1991. "Handbook of cereal science and technology". Ed. Marcel Dekker. New York.
67. Machado, D. I. S., Cervantes, J. L. and Vázquez, N. J. R. 2005. Highperformance liquid chromatography method to measure  $\alpha$  e  $\gamma$ - tocopherol in leaves, flowers and fresh beans from *Moringa oleifera*. *Journal of Chromatography*. 1105: 111-114.
68. Manguro, L.O.A., and Lemmen, P.2007. Phenolics of *Moringa oleifera* leave. *Natural Products Research*, 21:56-58.
69. Meena, A. K., Sachan, A., Kaur, R., Pal, B. and Singh. 2010. *Moringa oleifera*: A review. *Journal of Pharmacy Research*. 3: 840-842.
70. Mehta, K., Balaraman, R., Amin, A., Bafna, P. y Gulati, O. 2003. Effect of fruits of *Moringa oleifera* on the lipid profile of normal and hypercholesterolaemic rabbits. *J. Ethnopharmacol.* 86(2): 191-195.
71. Mora Guzmán, Amanda Carolina. 2012. "Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinoa. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
72. Morton, J. F., 1991. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (*Moringaceae*)- a boon to arid lands *Economic Botany* 45, 3, 318-333.

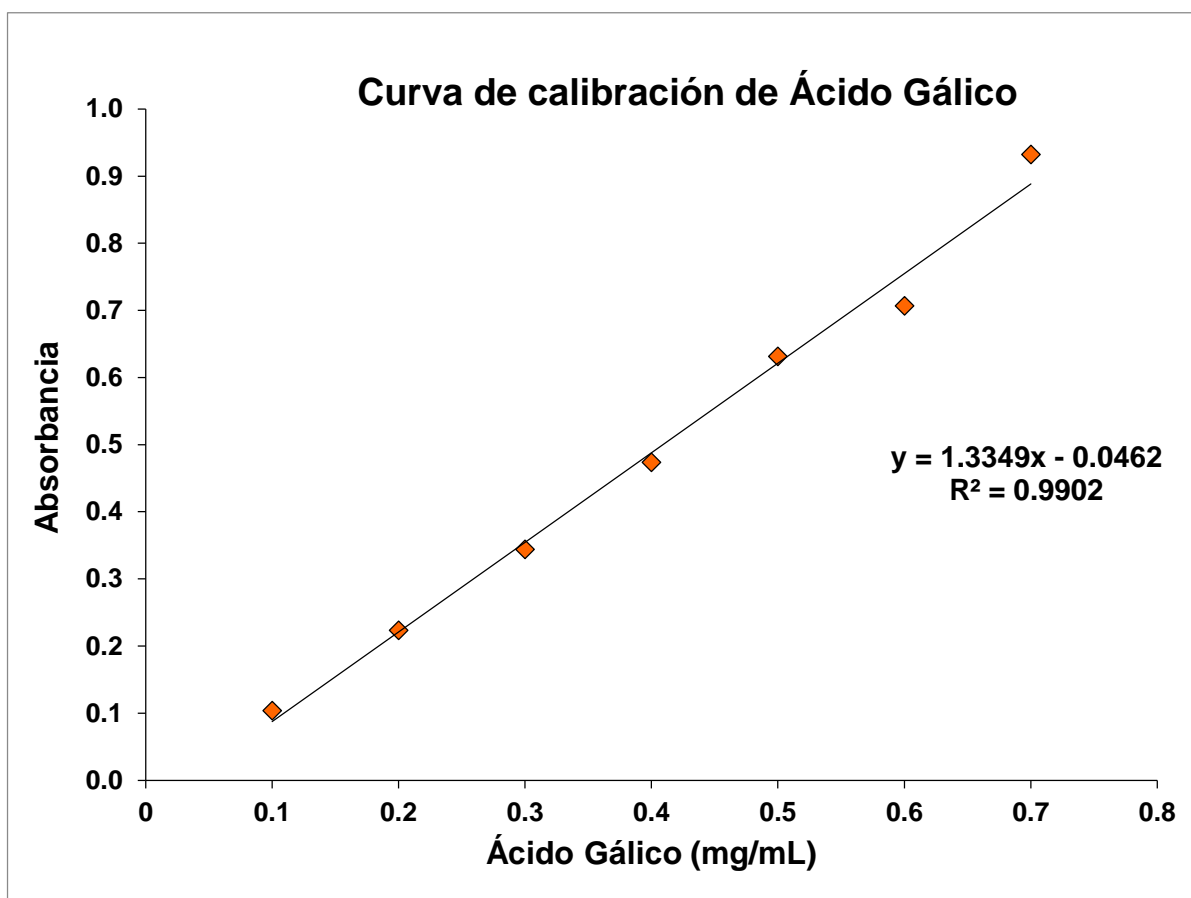
73. Moyo, B., Oyedemi, S., Masika,, P. J. and Muchenje, V. 2012. Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflowers seed cake. *Meat Science*. 91:441-447.
74. Nadro, M., Arungbemi, R. y Dahiru, D. 2007. Evaluation of *Moringa oleifera* leaf extracto n alcohol-induced hepatotoxicity. *Trop. J. Pharm. Res.* 5(1):539-544.
75. Nambiar, V.S. y Seshadri, S. 1998. Beta-carotene content of some green leafy vegetable of Western India by HPLC. *J. Food Sci. Tech.* 35(4): 365-367.
76. Nambiar, V.S. y Seshadri, S. 2001. Bioavailability trials of  $\beta$ -carotene from fresh and dehydrated drumstick leaves (*Moringa oleifera*) in a rat model. *Plant Food Hum. Nutr.* 56(1):83-95.
77. NOM-247-SSA1-2008
78. NTC 1055, Industrias Alimentarias, Pastas alimenticias, definición del producto y características básicas
79. Olszewska, M.A., Presler, A. y Michel, P. 2012. Profiling of phenolic compounds and antioxidant activity of dry extracts from the selected *Sorbus* species. *Molecules* 17(12): 3093-3113.
80. Omaye, S.T., Krinsky , N.I., Kagan, V.E. Mayne, S.T., Liebler, D.C. y Biadlack, W.R. 1997.  $\beta$ -carotene: Friend or foe? *Toxicol.Scie* .40(2):163-174.
81. Ovando Martinez, Maribel .2008. Pasta adicionada con harina de platano: digestibilidad y capacidad antioxidante. Tesis de maestria. Instituto Politecnico Nacional. Mexico.
82. Pacheco-Delahaye, E. 2001. Evaluacion nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad in vitro del almidón. *Acta Cientifica Venezolana*, 52, 278-282.
83. Pal, S.K., Mukherjee, P.K. y Saha, B. 1995. Studies on the antiulcer activity of *Moringa oleifera* leaf extracto n gastric ulcer models in rats. *Phytother. Res.* 9(6): 463-465.
84. Pandey, K.B. y Rizvi, S.I. 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2(5): 270-278.
85. Patel, S., Thakur, A. S. , Chandy, A. & Manigauha, A. 2010. *Moringa oleifera*: A review of there medicinal and economical importance to the health an nation. *Drug invention Today*. 2:339-342.
86. Pérez Landa, Irving David. 2013. "Efecto de diferentes métodos de secado sobre la retención de antioxidantes en hojas de moringa (*Moringa oleifera*)". Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Veracruz.
87. Peter , K. V. 1979. Drumstick, a multi-purpose vegetable. *Indian Horticulture*. 23: 17-18.
88. Pinheiro, P. M., Farias, D. F., de Abreu, J. T. & Urano, A. 2008. *Moringa oleifera* : bioactive compounds and nutritional potential. *Revista de Nutricao Campinas*. 21: 431-437.

89. Prince Roma. 2013. Planta productora de pastas alimenticias. Estados Unidos.
90. Quideau, S. Deffieux, D., Douat-Casassus, C. y Pouysegue, L. 2011. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angew. Chem. Int.*
91. Rayas-Duarte P., Mock C. M. and Satterle L.D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chemistry*, 73, 381-387.
92. Resmini, P., and Pagani, M.A. (1983). Ultra structure studies of pasta: A review. *Food Microstructure* 2: 1-12.
93. Rodriguez, D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI press Washington, DC. pp 41-16.
94. Sagarpa. <http://www.siap.gob.mx/trigo-grano/>
95. Salazar, Z, 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. p. 247-251. Tesis de Licenciatura de la Universidad de Chapingo.
96. Sanders, M. 1999. Durum Wheat Pasta Authenticity. British Pasta Product Association, London.
97. Serna, S. S. R. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D.F.
98. Serna, S.S.R. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D.F.
99. Seshadri, S., Jain, M. y Dhabhai, D. 1997. Retention and storage stability of B-carotene n dehydrated drumstick leaves (*Moringa oleifera*). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 48:373-379.
100. Shewry , P.R. , and Halford, N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53: 947-958.
101. Shewry, P.R., Tatham , A.S., Napie, J.A. 1995. Seed storage proteins : Structures an biosynthesis. *The Plant Cell*, 7:945-956.
102. Shih, M., Chang, C., Kang, S. & Tsai, M. 2011. Effect of different parts (leaf, stem and stalk) and seasons (summer and winter) on the chemical compositions and antioxidant activity of *Moringa oleifera*. *International Journal of Molecular Science*. 12:6077-6088.
103. Singh, B. N., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Dhakarey, R. Upadhyay, G. and Singh, H. B. 2009. Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of *Moringa oleifera*. *Foods and Chemical Toxicology*. 47: 1109-1116.
104. Sreelatha, S. & Padma, P. R. 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*. 64:303-311.
105. Sreeramulu, N. 1982. Chemical composition of some green leafy vegetables grown in Tanzania. *Journal of Plant Foods*. 4: 139-141.

106. Sreeramulu, N. Ndossi, G. D. & Mtotomwema, K. 1983. Effect of cooking on the nutritive value of common food plants of Tanzania. 1: Vitamin C in some of the wild green leafy vegetables. Food Chemistry. 10: 205-210.
107. Sultana, B. y Anwar, F. 2008. Flavonols (Kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits, vegetables and medicinal plants. Food. Chem. 108 (3): 879-884.
108. Tende, J.A. Ezekiel, I., Dikko, A. A.U. and Goji, A. D. T. 2011. Effect of ethanolic leaves extract of *Moringa oleifera* on blood glucose levels of streptozocin-induced diabetics and normoglycemic wistar rats. British Journal of Pharmacology and Toxicology. 2: 1-4
109. Torres A., Frias J., Granito M., Guerra M. and Vidal-Valverde C. 2007. Chemical biological and sensory evaluation of pasta products supplemented with  $\alpha$ -galactoside-free lupin flours. Journal of Science of Food and Agriculture, 87:74-81.
110. Tudorica C. M., Kuri V. and Brennan C.S. 2002. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 347-356.
111. Vasconcellos J.A. 1998. Alimentos funcionales. Conceptos y beneficios para la salud. The world of Food Science. Versión electrónica publicada en 1998. Departamento de Ciencias de Alimentos y Nutrición. Universidad Chapman, Orange, California, U.S.A. disponible en [http://www.worldfoodscience.org/vol1\\_3/feature1-3a.html](http://www.worldfoodscience.org/vol1_3/feature1-3a.html)
112. Veraverbeke, W.S., and Delcour, J.A. 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. CRC. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 42: 179-208.
113. Verma, S. C., Banerji, R., Misra, G. & Nigam, S.K. 1976. Nutritional value of Moringa. Current Science. 45: 769-770.
114. Wittig E, Serrano L, Bunge A, Soto D, López L, Hernandez N. 2002. Optimización de una formulación de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52: 91-100.
115. Yaméogo, C.W., Bengaly, M.D., Savadogo, A., Nikiema, P.A. y Traore, S.A. 2011. Determination of chemical composition and nutritional values of Moringa oleifera leaves. Pak. J. Nutr. 10(3):264-268.
116. Yang, R.Y., L.C., Hsu, J.C., Weng, B.B., Palada; M.C., Chadha, M. y Levasseur, V. 2006. Nutritional and functional properties of moringa leaves- From germplasm, to plant, to food, to health. Moringanews, CDE, CTA, GFU. Paris. Accra, Ghana.

XI. ANEXOS

ANEXO A



**Figura 9.** Curva de calibración de ácido gálico

ANEXO B

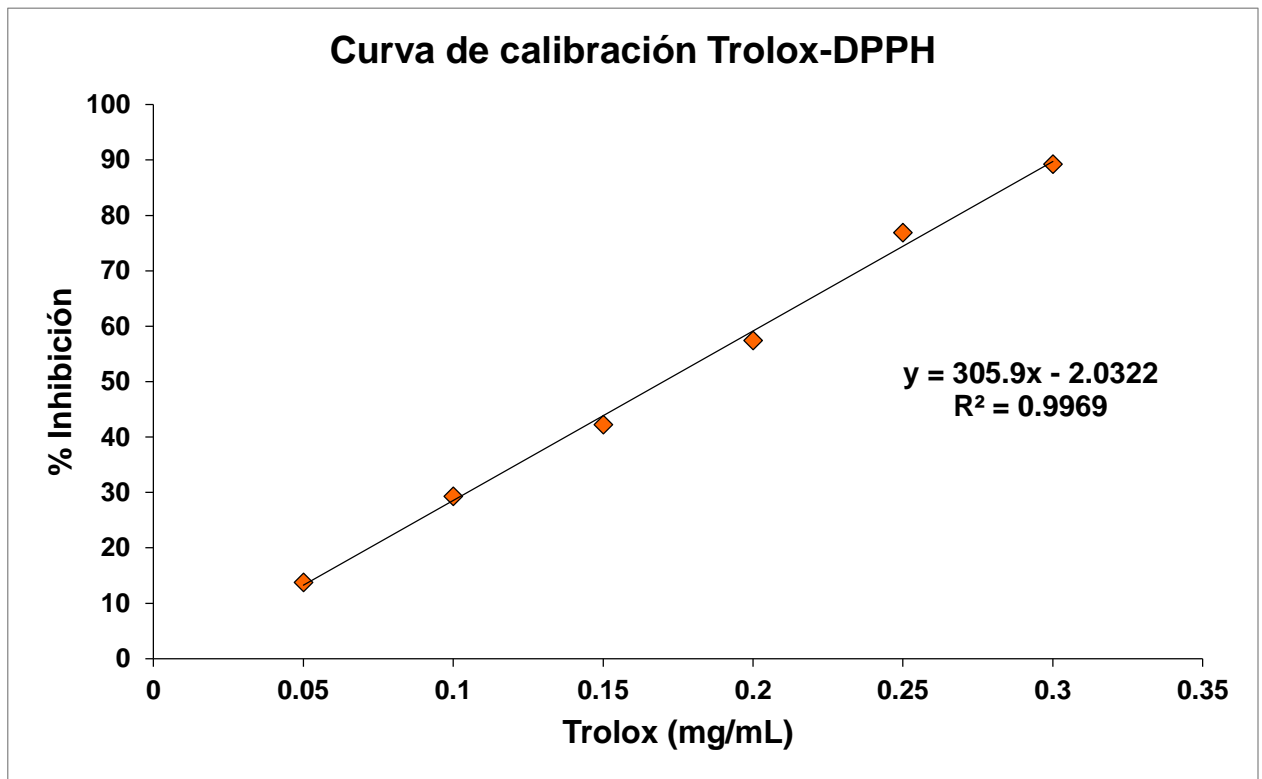


Figura 10. Curva de calibración Trolox-DPPH

## ANEXO C

### DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTI-RADICAL

#### **Procedimiento para la extracción de antioxidantes (Chumark *et al.*, 2008)**

La pasta molida y/o pulverizada (1 g de materia seca) se extrae con 10 mL de etanol acuoso (etanol: agua, 80:20 v/v) durante 30 minutos a 20 °C de temperatura en un baño ultrasónico.

Se separan los extractos de los residuos filtrando con ayuda de papel Whatman No. 1.

Las muestras para análisis, después de filtrarse, se llevan a volumen y concentración conocida y se almacenan en refrigeración (-4°C), hasta uso posterior.

#### **Procedimiento para la determinación de compuestos fenólicos totales (CFT) (Waterman y Mole, 1994)**

100 µL del extracto filtrado después de la extracción descrita previamente se transfieren a un matraz volumétrico de 10 mL y se le adicionan 6 mL de agua destilada. El contenido se agita para mezclar bien; 0.5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu 2 N se adicionan y se mezcla de nuevo, siempre con ayuda de un Vortex. Después de 5 minutos, 1.5 mL de una solución de carbonato de sodio al 20% también se agregan y se vuelve a agitar el contenido. El matraz se afora a volumen con agua y se mezcla una última vez. La solución se deja reposar en una incubadora a 25 °C durante 2 horas y posteriormente se hacen las lecturas espectrofotométricas a 765 nm.

La cantidad de fenoles totales se calcula utilizando una curva de calibración (ANEXO A). Los resultados se expresan como equivalentes de ácido gálico gEAG/100 g de materia seca. Todas las muestras deben analizarse por triplicado y los resultados se promedian. Los resultados se expresan en base seca.

#### **Determinación de actividad anti-radical DPPH (Brand Williams *et al.*, 1995)**

Se adicionan 3.9 mL de una solución recién preparada de DPPH (1,1-Difenil-2-picrilhidrazilo) en metanol (0.025 g/L) al extracto (100µL). La mezcla se deja reposar hasta que se alcanza el equilibrio (verificado en un tiempo de 90 minutos) y se mide la absorbancia con un espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm. La muestra de referencia se prepara con 100 µL del solvente de extracción en lugar del extracto. El porcentaje de actividad anti-radical se calcula como porcentaje de decoloración de DPPH mediante la Ec. 1.

## ANEXO D

**Tabla 30.** Ingredientes de las pastas adicionadas con moringa

LOTE 2	CONTROL	1%	3%	5%	7%
HUEVO	3 pza	3 pza	3 pza	3 pza	3 pza
SAL	6 g	6 g	6 g	6 g	6 g
ACEITE	6 g	6 g	6 g	6 g	6 g
HARINA DE MORINGA	0 g	3 g	9 g	15 g	21 g
SEMOLINA	210.2 g	207.9 g	203.7 g	199.5 g	195.3 g
HARINA DE TRIGO	90 g	89.1 g	87.3 g	85.5 g	83.5 g