



**Secretaría de Educación Pública**

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Veracruz

**Efecto de las variables del proceso de elaboración sobre la  
calidad de pasta adicionada con *Moringa oleífera***

Tesis

Que para obtener el grado de:

Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

Presenta:

Fernando Illana Romero

Asesores:

Dra. Guadalupe del Carmen Rodríguez Jiménez

Dra. Delia Esther Páramo Calderón

Dr. Víctor José Robles Olvera

H. Veracruz Ver.

Junio, 2017

## RESUMEN

Illana Romero Fernando. Maestría en Ciencias En Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Mayo 2017. "Efecto de las variables del proceso de elaboración sobre la calidad de pasta adicionada con harina de *Moringa oleífera*"  
Asesores: Rodríguez Jiménez, Guadalupe del Carmen, Paramo Calderón, Delia Esther, Robles Olvera, Víctor José.

Las pastas elaboradas con sémola y harina de trigo constituyen un alimento de consumo masivo debido a su alta aceptación por los consumidores; sin embargo, presentan baja concentración de lisina, por esta razón se han utilizado diversas fuentes de proteína de origen vegetal para su fortificación. Las hojas de *Moringa oleífera* contienen todos los aminoácidos esenciales, un contenido elevado de minerales, vitaminas y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, por esto representan una alternativa para fortificar las pastas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la formulación y de las variables del proceso de elaboración (secado y cocción) sobre las características finales de la pasta tipo lasaña adicionada con harina de *Moringa oleífera*. La harina de moringa se obtuvo a partir de hojas deshidratadas a 55 °C y 1 m s<sup>-1</sup> de velocidad de aire. Las pastas tipo lasaña se elaboraron con una proporción 70:30 de sémola:harina de trigo duro (testigo) y se adicionó harina de moringa en dos niveles de sustitución: 3 y 6 %, conservando la relación entre la sémola y harina de trigo. La masa fue elaborada en una mezcladora, posteriormente moldeada en un extrusor y pre-secada en un secador de bandejas a 35 °C con velocidad de aire de 1 m s<sup>-1</sup>, durante 0, 20 y 40 min. La pasta pre-secada fue deshidratada hasta alcanzar una humedad final promedio de 11 % en un secador de charolas a 50 y 60 °C con una velocidad de aire de 1 m s<sup>-1</sup>. La cocción de las pastas se realizó en agua a 100 °C en una relación 1:10 (pasta:agua) hasta determinar el tiempo adecuado de cocción de la pasta de cada tratamiento. Con la incorporación de harina de moringa en las formulaciones se incrementó el contenido proteico (2.74 - 6.76 %) y de cenizas (2.04 - 3.75 %). Con respecto al color del producto final, el aumento de harina de moringa redujo los valores de L e incrementó los valores de Hue y C\*. El contenido de fenoles totales (FT) y la actividad antirradical (AAR) por DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) en pastas cocidas fueron afectados significativamente por la concentración de harina de moringa y los tratamientos de pre secado. La AAR por ABTS (2,2' Azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfónico), en las pastas cocidas, no mostró diferencia significativa entre los tratamientos. En las pruebas de calidad culinaria hubo una reducción en el tiempo de cocción y un aumento en el grado de hinchamiento y ganancia de peso de la pasta, debido al aumento en la concentración de harina de moringa. El porcentaje de área de los ácidos grasos ω 3 se incrementó con la adición de harina de moringa. Con la incorporación de harina de moringa se mejoró el contenido químico proximal, la calidad culinaria de las pastas y el contenido de ácidos grasos. Los tratamientos de pre-secado favorecieron a la retención de los compuestos con actividad antioxidante.

## ABSTRACT

Illana Romero Fernando. Maestría en Ciencias En Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos. Mayo 2017. "Efecto de las variables del proceso de elaboración sobre la calidad de pasta adicionada con harina de Moringa oleífera" Asesores: Rodríguez Jiménez, Guadalupe del Carmen, Paramo Calderón, Delia Esther, Robles Olvera, Víctor José.

Pasta made from semolina and wheat flour is a food of mass consumption because of its high acceptance by consumers; However, they present low lysine concentration, for this reason different sources of protein of vegetal origin have been used for their fortification. Moringa oleifera leaves contain all the essential amino acids, a high content of minerals, vitamins and phenolic compounds with antioxidant properties, because of this they represent an alternative to fortify the pastas. The objective of this work was to evaluate the effect of the formulation and the variables of the production process (drying and cooking) on the final characteristics of the lasagne type pasta added with Moringa oleifera flour. Moringa flour was obtained from dehydrated leaves at 55 ° C and 1 m s<sup>-1</sup> air velocity. Lasagna-type pastas were made with a 70:30 proportion of semolina: durum wheat flour (control) and moringa flour was added at two substitution levels: 3 and 6%, retaining the ratio between semolina and wheat flour The dough was made in a mixer, then molded in an extruder and pre-dried in a tray dryer at 35 ° C with air velocity of 1 m s<sup>-1</sup>, for 0, 20 and 40 min. The pre-dried pasta was dehydrated to an average final humidity of 11% in a tray dryer at 50 and 60 ° C with an air velocity of 1 m s<sup>-1</sup>. Regarding the color of the final product, the increase of moringa flour reduced the values of L and increased the values of Hue and C \*. The content of total phenols (FT) and antiradical activity (AAr) by DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazole) in cooked pasta were significantly affected by moringa flour concentration and pre-drying treatments. The AAr by ABTS (2,2 'Azinobis-3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) in the cooked pasta showed no significant difference between the treatments. In the culinary quality tests there was a reduction in the cooking time and an increase in the degree of swelling and weight gaining of the pasta, due to the increase in the concentration of moringa flour The percentage of area of fatty acids ω 3 was increased with the addition of moringa flour. With the incorporation of moringa flour the proximal chemical content, the culinary quality of the pasta and the fatty acid content were improved The pre-drying treatments favored the retention of compounds with antioxidant activity.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
LISTA DE TABLAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 Pastas alimenticias.....	2
2.1.1 Definición de pasta alimenticia.....	2
Tipos de pastas alimenticias.....	2
Composición química de las pastas alimenticias.....	5
2.2 Materias primas para la elaboración de pastas alimenticias.....	6
2.2.1 Trigo.....	7
2.2.2 Composición química del trigo.....	8
2.2.3 Sémola de trigo.....	10
2.2.4 Harina de trigo.....	12
2.3 Proceso de elaboración de pastas alimenticias.....	12
2.3.1 Amasado.....	12
2.3.2 Extrusión.....	13
2.3.3 Secado.....	13
2.3.4 Diferentes tipos de secado para pastas alimenticias.....	14
2.4 Pastas enriquecidas.....	15
2.5 <i>Moringa oleífera</i> .....	19
2.5.1 Características nutricionales de la planta.....	19
2.5.2 Compuestos bioactivos de las hojas de <i>Moringa oleífera</i> .....	21
3 SÍNTESIS DE ANTECEDENTES.....	23
4 OBJETIVOS.....	25
4.1 GENERAL.....	25
4.2 ESPECÍFICOS.....	25
5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1 Materia prima.....	26
5.2 Reactivos y disolventes.....	26
5.3 Obtención de la harina de <i>Moringa oleífera</i> .....	26
5.4 Proceso de elaboración de las pastas.....	27
5.4.1 Mezclado y amasado.....	27
5.4.2 Extrusión.....	27

5.4.3	Presecado .....	28
5.4.4	Secado .....	28
5.5	Análisis químico proximal .....	28
5.5.1	Determinación del Contenido de humedad .....	28
5.5.2	Determinación de lípidos .....	28
5.5.3	Determinación de cenizas .....	28
5.5.4	Determinación de proteínas .....	29
5.5.5	Determinación de color .....	29
5.5.6	Determinación de la actividad de agua .....	29
5.5.7	Obtención del extracto para determinación de CFT y AAr .....	29
5.5.8	Determinación del contenido de fenoles totales .....	30
5.5.9	Determinación de la actividad antirradical por DPPH .....	30
5.5.10	Determinación de la actividad antirradical por ABTS .....	31
5.5.11	Perfil de ácidos grasos .....	31
5.6	Diseño experimental y análisis estadístico .....	32
6	RESULTADOS .....	34
6.1	Cinéticas de secado .....	34
6.1.1	Cinéticas sin pre-secado .....	34
6.1.2	Cinéticas con presecado (20 y 40 minutos) .....	35
6.2	Efecto de las variables del proceso de secado sobre la humedad y la $a_w$ de la pasta 36	
6.2.1	Actividad de agua en pastas testigo y fortificadas al final de los diferentes tratamientos de secado .....	36
6.2.2	Humedad en pastas fortificadas al final de los diferentes tratamientos de secado .....	37
6.3	Efecto de las diferentes condiciones de secado en pastas adicionadas con harina de moringa sobre su contenido bromatológico .....	39
6.4	Efecto de la adición de harina de moringa sobre los parámetros de color en pastas crudas .....	41
6.5	Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre el contenido de fenoles totales en pastas cruda y cocida .....	42
6.6	Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la actividad antirradical por DPPH para pastas crudas y cocidas.. .....	44
6.7	Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la actividad antirradical por ABTS para pastas crudas y cocidas.. .....	45
6.8	Efecto de las formulaciones y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la Calidad culinaria de la pasta cocida .....	47

---

6.9	Efecto de las formulaciones y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre el contenido de ácidos grasos presentes en pastas.....	49
7	CONCLUSIONES.....	51
8	BIBLIOGRAFIA.....	52
9	ANEXOS .....	59
	ANEXO A .....	59
	ANEXO B .....	60
	ANEXO C .....	61

## LISTA DE TABLAS.

	<b>Pag</b>
<b>TABLA 2.1.</b> Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan .....	3
<b>TABLA 2.2</b> Composición de las pastas alimenticias (100 g s.s.) .....	5
<b>TABLA 2.3</b> Especificaciones de la composición de una pasta alimenticia seca .....	6
<b>TABLA 2.4</b> Composición del grano de trigo. ....	8
<b>TABLA 2.5.</b> Composición de las variedades de trigo panadero y cristalino. ....	10
<b>TABLA 2.6.</b> Composición química de la sémola de <i>Triticum durum</i> .....	11
<b>TABLA 2.7.</b> Contenido de nutricional de las hojas de Moringa oleífera .....	20
<b>TABLA 2.8.</b> Contenido de aminoácidos de las hojas de Moringa oleífera. ....	20
<b>TABLA 5.1.</b> Formulaciones de pasta tipo lasaña. ....	27
<b>TABLA 5.2</b> Niveles evaluados de las variables de operación del proceso de secado en pastas adicionadas con harina de Moringa oleífera .....	32
<b>TABLA 6.1</b> Química proximal en pastas después del secado .....	39
<b>TABLA 6.2</b> Parámetros de color de las pastas deshidratadas a 50 °C y 60 °C con y sin pre-secado .....	41
<b>TABLA 6.3</b> Calidad culinaria de las pastas. ....	47
<b>TABLA 6.4.</b> Porcentajes de área de ácidos grasos en pastas secas adicionadas con harina de Moringa oleífera .....	50

---

## LISTA DE FIGURAS.

	<b>Pag.</b>
<b>FIGURA 2.1</b> Formas que presentan algunas pastas largas: a) macarrón, b) fideos, c) espagueti, d) tallarín, y e) lasaña. ....	4
<b>FIGURA 2.2.</b> Formas que presentan algunas pastas cortas: a) codo, b) plumilla, c) concha, d) estrella, e) munición y f) semilla de melón. ....	4
<b>FIGURA 2.3.</b> Componentes del grano de trigo. Fuente: Asociación española fabricante de cereales. ....	9
<b>FIGURA 6.1.</b> Cinética de secado de pasta a 50 °C y 60 °C sin presecado.....	34
<b>FIGURA 6.2.</b> Cinética de secado a 50 °C con presecado de 20 y 40 min a 35 °C .....	35
<b>FIGURA 6.3.</b> Cinética de secado a 60 °C con presecado de 20 y 40 min a 35 °C .....	36
<b>FIGURA 6.4.</b> Actividad de agua en pastas al final del secado (Humedad ≈10 %).....	37
<b>FIGURA 6.5.</b> Humedad de equilibrio de las Pastas adicionadas con 3 % y 6 % de moringa bajo diferentes condiciones de secado y presecado .....	38
<b>FIGURA 6.6 .</b> Contenido de compuestos fenólicos en pastas crudas y cocidas.....	43
<b>FIGURA 6.7.</b> Contenido de antioxidantes en pastas crudas y cocidas por DPPH .....	44
<b>FIGURA 6.8.</b> Actividad antirradical (ABTS) para pastas crudas y cocidas .....	45
<b>FIGURA 9.1.</b> Curva de calibración de ácido gálico.....	59
<b>FIGURA9.2.</b> Curva de calibración Trolox-DPPH .....	60
<b>FIGURA 9.3.</b> Curva de calibración Trolox-ABTS .....	61



## 1 INTRODUCCIÓN

México ocupa uno de los primeros lugares del mundo en padecer diversas enfermedades crónico-degenerativas (principalmente obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, entre otras), las cuales se encuentran asociadas a una alimentación inadecuada. Como consecuencia, en los últimos años, la tendencia en la alimentación señala un creciente interés por parte de los consumidores hacia algunos alimentos que además del valor nutritivo aporten beneficios a la salud. Éstos se denominan 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). Lo anterior ha impulsado a la Industria de Alimentos a buscar estrategias para desarrollar nuevos productos que adicionen como ingredientes distintos compuestos que permitan obtener un producto final con propiedades funcionales. Una amplia gama de productos han sido desarrollados, incluyendo botanas, tortillas, galletas, cereales para desayuno, productos de panificación y pastas.

Las pastas alimenticias representan un alimento primordial como parte de la dieta de consumo en gran parte de la población mexicana, siendo el principal ingrediente el trigo, el cual junto con el maíz y el arroz, son una de las principales fuentes de carbohidratos para la población. Las pastas son un alimento de consumo masivo que posee varias ventajas: aporta energía a la dieta, tiene amplia aceptación por parte del consumidor, es un alimento funcional por su bajo aporte de grasa, sodio y baja respuesta glicémica (Mora, 2012; Araya *et al.*, 2003). Los ingredientes más utilizados para la elaboración de las pastas son la harina y sémola de trigo *durum* (Guerreiro, 2006). 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). Para mejorar el contenido de proteínas y el perfil de aminoácidos esenciales, las pastas se han suplementado con harina hecha de guisantes partidos, frijol, garbanzo, lentejas, quínoa, amaranto, zanahoria y chícharo; logrando con ello una mejora en la calidad de las pastas (Granito *et al.*, 2003; Acosta, 2007; Zhao *et al.*, 2007; Granito y Ascanio, 2009; Astaiza *et al.* 2010, Petitot *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2011).

En este contexto, se ha comenzado a explorar el uso potencial de la especie *Moringa oleifera* como ingrediente nutraceutico, incorporándolo a alimentos existentes con el fin de mejorar su calidad nutricional. La harina de *Moringa oleifera* 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). En el presente trabajo se propuso evaluar la adición de harina de *Moringa oleifera* sobre la composición nutricional, contenido antioxidante, propiedades físicas, el perfil de ácidos grasos y la calidad culinaria de pastas tipo lasaña elaborada a partir de sémola de trigo.

## **2. ANTECEDENTES.**

### **2.1 Pastas alimenticias**

Se le denomina pasta alimenticia al producto obtenido mediante el proceso de secado apropiado de figuras previamente formadas por la laminación y prensado de la masa preparada con sémola de trigo, harina de trigo o mezcla de ambas, agua potable y con la adición de algunos otros productos como son el huevo y algunos derivados de productos vegetales.

#### **2.1.1 Definición de pasta alimenticia**

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).

Hoy en día la pasta es un alimento aceptado y empleado en todo el mundo, aunque con un grado de importancia variable. Es además, una industria sofisticada, que actualmente utiliza tecnologías avanzadas para lograr la máxima eficiencia, producción y calidad (Gómez-Cota, 2007).

#### **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.

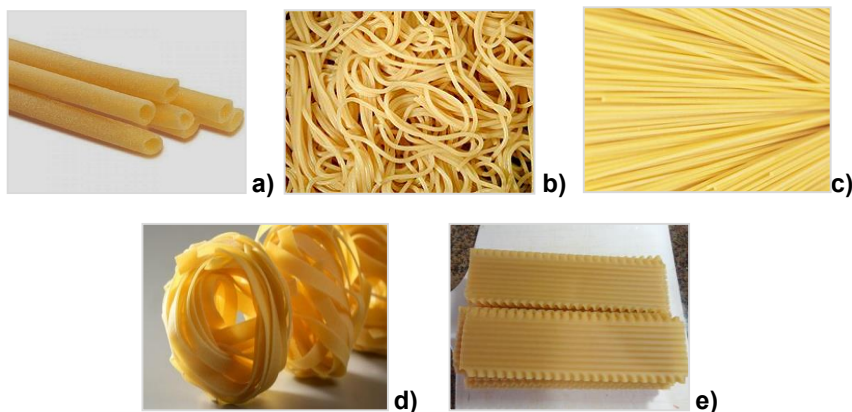
b) De acuerdo a su forma, las pastas pueden ser largas, cortas o de fantasía, como se indica en la Tabla 1.

**TABLA 2.1.** Clasificación de las pastas de acuerdo a la forma que presentan

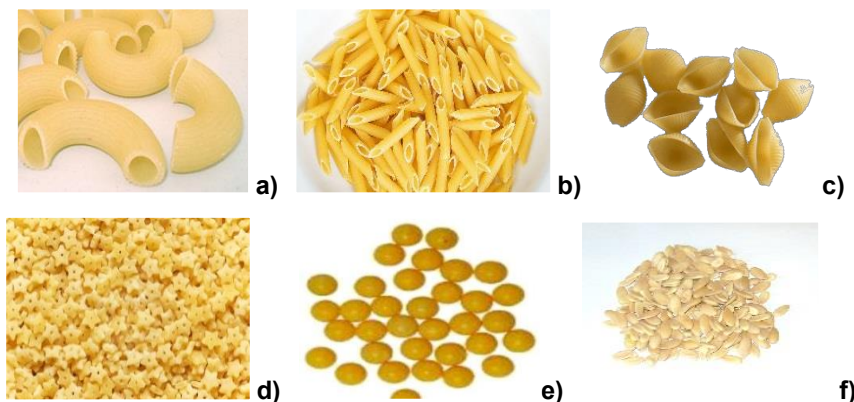
<b>Largas</b>	<b>Huecas</b>	Macarrón
	<b>Compactas</b>	Fideo Espagueti Tallarín Lasaña
<b>Cortas</b>	<b>Huecas</b>	Codo Plumilla Concha
	<b>Compactas</b>	Estrella Munición Semilla de melón Alfabeto, etc,
<b>Fantasía</b>	Hongo, almeja, corbata	

Fuente: Salazar, 2000.

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



**FIGURA 2.1** Formas que presentan algunas pastas largas: a) macarrón, b) fideos, c) espagueti, d) tallarín, y e) lasaña.



**FIGURA 2.2.** 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 (desecadas 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.

### **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 2 y 3, respectivamente.

**TABLA 2.2** Composición de las pastas alimenticias (100 g s.s.).

Componente	Peso
Agua	12.7
Proteína	10.2
Grasa	0.4
Carbohidratos	76.2
Cenizas	0.5
Calcio	0.021
Fósforo	0.052
Hierro	0.001
Tiamina	0.00015
Riboflavina	0.00005
Niacina	0.0007

Fuente: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar

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 2.3** 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
NTC 1055		

Para obtener una pasta de 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.

## **2.2 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 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.

### **2.2.1 Trigo**

El trigo es la planta alimenticia de más extenso cultivo a nivel mundial, más de mil millones de seres humanos lo consumen en diversas formas y contribuyen en mayor proporción que ningún otro alimento a suministrar energía y proteínas al hombre.

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 semiente (semilla); también se utiliza para la preparación de aditivos para la cerveza y otros licores, y hasta en la producción de combustibles. (Luna, 2007).

El trigo es uno de los principales cultivos en México es el segundo cereal más consumido después del maíz (ASERCA, 2003). 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, 2010), la producción total mexicana de trigo durante el año 2014 fue 3,669,814.90 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. (SAGARPA, 2010).

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.

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).

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).

**2.2.2 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 (Guzman, 2009). 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.

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 4 se muestra la composición química del grano de trigo.

**TABLA 2.4** Composición del grano de trigo.

<b>Componentes</b>	<b>(%) p/p</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

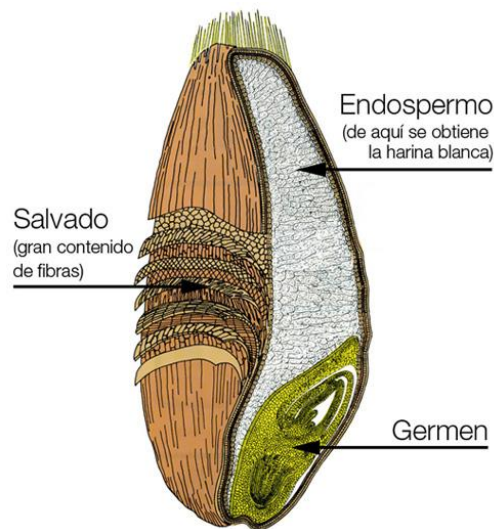
Fuente: Serna, 2001.



***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)).

En la Tabla 5 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.



**FIGURA 2.3.** Componentes del grano de trigo. Fuente: Asociación española fabricante de cereales.

TABLA2.5. 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 mayor porcentaje de proteína que los comunes. Esto como resultado del ambiente en el cual han sido cultivados; 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.

### 2.2.3 Sémola de trigo

La sémola de trigo es la fracción del trigo que contiene la mejor calidad y mayor cantidad de proteínas. Se obtiene de la molienda en los primeros cilindros de trituración 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. 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 6.

TABLA 2.6. Composición química de la sémola de *Triticum 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 cosechados en 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 de 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 durum 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). 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 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).

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 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).

#### **2.2.4 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 arabinoxilanos y lípidos (2%). Dentro de estos componentes es de gran interés conocer las características de su proteína.

### **2.3 Proceso de elaboración de pastas alimenticias**

#### **2.3.1 Amasado**

La primera etapa de la elaboración de la pasta comprende la humectación de las materias primas secas con los ingredientes líquidos. Teniendo en cuenta las capacidades de los sistemas continuos de producción de pasta, debe darse gran importancia a la óptima humectación de la sémola en un corto tiempo antes del mezclado y amasado. La zona de humectación se instala a la cabeza del mezclador. El mezclado pone en contacto la sémola y la harina con el agua adicionada y el huevo. La masa obtenida tiene la capacidad de fluir y tiene un contenido de humedad uniforme (Kill *et al.*, 2001).

Durante la preparación de la masa se adiciona agua en una proporción entre 18% y 25% de las materias primas secas, para obtener una masa fresca que contiene una humedad promedio entre 30% y 32% (Kill *et al.*, 2001; Sissons, 2004). En la etapa de amasado se incorporan a la sémola,

harinas o mezclas, agua (30%) y sal, y se mezcla durante un tiempo aproximado de 10 minutos. En este proceso, el gluten se desarrolla y absorbe el 90% del agua, produciendo un esponjamiento de la masa y su transformación en una masa homogénea y firme. La operación debe realizarse en amasadoras herméticas en ausencia de aire, para evitar la aparición de burbujas que darían a la pasta un aspecto opaco y puntos de debilidad, además de favorecer la actuación de la lipoxigenasa que destruye los carotenos responsables del color amarillo (Gil, 2010).

### **2.3.2 Extrusión**

En el momento de pasar a extrusión el contenido de humedad de la masa debe estar alrededor de 28% (Kent, 1994). La mezcla se somete a una presión continua de hasta 150 atm (por lo general, 80-120 atm) a lo largo del tornillo sinfín, procurando que no se alcance la temperatura de 50°C para no deteriorar la estructura proteica, que influiría negativamente en la cocción. Posteriormente la masa sale por una boquilla, donde se produce una expansión y el producto toma la forma del molde de la boquilla de salida. Actualmente, existen en el mercado 250 formatos de pastas (Gil, 2010).

### **2.3.3 Secado**

El secado es la etapa más compleja (Kill *et al.*, 2001). El propósito del secado es producir una pasta fuerte y estable. La humedad es removida de la superficie de la pasta por una corriente de aire caliente, creando un gradiente de humedad dentro de la pasta (Sissons, 2004). El proceso debe darse desde el interior de la pasta y si la superficie se seca demasiado rápido pueden generarse agrietamientos (Kill *et al.*, 2001; Sissons, 2004) ya que se formarían cortezas en la superficie, que obstaculizarían la salida del agua de las zonas internas (Gil, 2010). Las grietas o líneas de fractura que se desarrollan con un secado inadecuado pueden causar el quiebre del producto seco durante el empaque y el almacenamiento. Debido a esto, la pasta puede desintegrarse y deteriorarse su apariencia durante la cocción, y ser rechazada por el consumidor.

El calor del secado ayuda a crear una red permanente de proteína alrededor de los gránulos de almidón, favoreciendo la resistencia y la integridad de la pasta. Esto previene que los gránulos de almidón se liberen durante la cocción y mejora la firmeza y la masticabilidad de la pasta cocida (Sissons, 2004).

Existen tres procesos de secado de acuerdo con la temperatura utilizada: el secado a temperatura normal alrededor de 50 °C por aproximadamente 18 horas; secado a temperatura alta

entre 60 °C y 75 °C por aproximadamente 8 horas; y el secado a temperatura ultra alta entre 85 °C y 105 °C por 4 o 5 horas (Sissons, 2004). Actualmente se usan sistemas de secado a temperaturas altas o ultra altas, por encima de los 70°C (Gil, 2010) gracias a los beneficios que tienen sobre la calidad al contribuir al incremento de la firmeza y el color amarillo, además de ser un proceso de mayor capacidad (Sissons, 2004). Las temperaturas de 40 - 60 °C sólo se utilizan en empresas de reducida producción.

Al aumentar las temperaturas (66 - 94°C) se reducen los tiempos de secado y el tamaño de las instalaciones; el producto tiene mayor estabilidad microbiana, la red proteica se refuerza, disminuye la adherencia de la pasta y pueden usarse mezclas de productos de trigos blandos (con menor contenido proteico) con óptimos resultados (Gil, 2010). Una temperatura excesiva durante el secado es indeseable, ya que provocará la aparición de color marrón en la pasta debido a un pardeamiento no enzimático extremo (reacciones de Maillard) (Sissons, 2004).

El producto tiene que pasar del 30 % de humedad al 12.5 % con una baja actividad de agua para garantizar una larga vida útil (Sissons, 2004). El tipo de secado depende del tipo de pastas (largas o cortas). Las pastas de tamaño pequeño también pueden secarse en hornos de microondas durante un tiempo no superior a 2 horas (Gil, 2010). En un proceso genérico la pasta se mueve a través de una cámara de secado hasta que alcanza la humedad final determinada y se estabiliza para garantizar que la humedad remanente quede uniformemente distribuida. El producto se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente.

#### **2.3.4 Diferentes tipos de secado para pastas alimenticias**

Se han desarrollado diversas tecnologías para el proceso de secado de pastas alimenticias, esto con la finalidad de garantizar la calidad culinaria y conservar algunos compuestos de interés.

Dentro de estas tecnologías, está la descrita por Mercier *et al* (2011), en la cual se utiliza un proceso de extrusión, sometido a un vacío de aproximadamente 79 kPa, para evitar la formación de burbujas en el interior de las pastas. Se empleó una temperatura de 50°C la cual se controla con agua que circula en una cámara de doble camisa. Para terminar de eliminar el contenido de agua presente en la pasta, esta se coloca en una cámara ambiental con dos perfiles de temperatura (40 y 80 °C) con una velocidad del aire de 1-2 m/s.

Berteli & Marsaioli (2005) propuso un secado con aire asistido por microondas y lo comparó con el método tradicional de secado para pastas cortas, utilizando un pre secado a 82 °C durante 35 minutos, hasta alcanzar una humedad en base seca en las pastas de un 18%, después se secaron las pastas utilizando microondas con aire caliente (200 W, 60 °C) durante 12 min hasta una humedad final

de 12 %. Las pastas desarrolladas no presentaron grietas utilizando estas condiciones de secado y se redujo el tiempo de secado a 1.5 horas en comparación de las 8 horas tradicionales, mejorando además las condiciones de textura.

Bertelli & Marsaioli (2008) propusieron adaptar un horno de tambor rotatorio (el cual trabaja con aire caliente que fluye en cocorriente o en contra corriente del producto) para funcionar simultáneamente con un aplicador de microondas, las cuales se producían a una frecuencia de (2.45 GHz, 6 kW), con control de potencia.

Granito (2010) evaluó un proceso de presecado a una temperatura de 55 °C y una HR de 70 % durante 3 horas, para posteriormente secar a 90 °C con una HR de 75 % durante dos horas, encontrando que las temperaturas altas fueron suficientes para desnaturalizar las proteínas y con ello lograr formar una matriz proteína-carbohidrato-lípido que impide la solubilidad del almidón presente en las pastas, teniendo mejoras en las pruebas de calidad culinarias principalmente en el porcentaje de pérdidas por cocción.

D'Amico (2015) propone utilizar un proceso de presecado a bajas temperaturas 35-40°C durante diferentes tiempos (0, 2 y 4 h) y utilizar temperaturas de secado altas (60, 80 y 100°C) hasta llegar a una humedad de 10 % en base seca. Con este proceso se logra obtener mejoras en las propiedades de textura en las pastas.

Estas adaptaciones se proponen para poder modificar las condiciones durante el proceso de secado y mejorar así la calidad de las pastas, y para las pastas enriquecidas conservar la mayoría de los compuestos que les han sido añadidos.

## **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;

**Restandarización.** 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. Para que tengan efecto se añaden cuando: el consumo del nutrimento es bajo en la dieta de un número significativo de personas, el alimento base se consume en cantidades importantes para que contribuya en la población, la adición no provoca un desequilibrio de nutrimentos, o bien, 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 nutraceuticos 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) esto con el fin de mejorar la calidad nutricional de las pastas. 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. Lo cual concuerda con lo esperado para el grado de hinchamiento, que es uno de los atributos de la calidad culinaria de pastas alimenticias.

Acosta (2007) elaboró una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada (100, 80, 60, 20 %) 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 (30, 40, 50 %) como fuente de lisina y con zanahoria (15%) como fuente de fibra dietaria 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 dietaria, 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 (10, 20 %) el cual es un 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 oleifera* 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 oleifera*

El árbol *Moringa oleifera*, es una especie de la familia de las Moringáceas, es originaria del norte de la India y actualmente abunda en todo el trópico (Morton, 1991). En México, el árbol de moringa se ha 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). 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.

### 2.5.1 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 % b.s.), minerales, carotenoides, y vitamina C (Gopalan *et al.*, 1971; Verma *et al.*, 1976, Peter, 1979; Sreeramulu, 1982; Sreeramulu *et al.*, 1983), como se pueden apreciar en la Tabla 7. 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 8 se muestra el contenido de aminoácidos en las hojas de moringa.

**TABLA 2.7.** Contenido de nutricional de las hojas de *Moringa oleífera*.

(Valores reportados por 100 g)

<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

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

**TABLA 2.8.** 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

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

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 fuente de antioxidantes naturales. Estas son ricas en compuestos fenólicos (Vásquez, 2014) 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.

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, 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).

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

Desde hace algunos años, se ha presentado una considerable atención por identificar los compuestos bioactivos que se encuentran en plantas, que puedan ser utilizados para el consumo humano y el control de enfermedades. En este sentido y por su aprovechamiento en medicina tradicional durante siglos, se han desarrollado diversas investigaciones sobre el mantenimiento y mejora de la salud a través del consumo de hojas de moringa, identificándose actividades tales como hipocolesterolemiantes (Ghasi *et al.*, 2000; Mehta *et al.*, 2003), hipotensoras (Faizi *et al.*, 2007), antiulcerosa (Pal *et al.*, 1995), antiespasmódica, antiinflamatoria (Caceres *et al.*, 1992), hipolipemiantes, 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.

Estos compuestos bioactivos presentes en las hojas de moringa, presentan un amplio grupo capaz de prevenir los procesos degenerativos asociados a un exceso de especies reactivas de oxígeno. (ROS, por sus siglas en inglés) en el organismo; como O<sub>2</sub><sup>•</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>•</sup> y HO<sup>•</sup> las cuales se generan continuamente en el interior del cuerpo humano como consecuencia de la exposición a una cantidad de factores provenientes del entorno como son: 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: 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; Elkhalfa *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; Vázquez, 2014).

### 3 SÍNTESIS DE ANTECEDENTES

Hoy en día la pasta es un alimento aceptado y empleado en todo el mundo, aunque con un grado de importancia variable. Es además, una industria sofisticada, que actualmente utiliza tecnologías avanzadas para lograr la máxima eficiencia, producción y calidad (Gómez-Cota, 2007).

Dentro de los ingredientes que componen la pasta alimenticia se encuentran el aceite de oliva, agua, huevo, sal, harina y sémola de trigo, estos dos últimos componentes son de gran importancia en la elaboración de las pastas (Kruger *et al.*, 1996) esto debido que confieren las propiedades viscoelásticas a la pasta y su color característico. Existen diversas formas para la clasificación de las pastas alimenticias, como puede ser la composición de la pasta, y la forma que presenta después del proceso de extrusión que es una etapa dentro del proceso de elaboración de las pastas alimenticias.

La elaboración de las pastas se puede dividir en tres etapas principales: el mezclado y amasado, la extrusión (laminado y moldeado) y el secado. El secado es la etapa más compleja (Kill *et al.*, 2001). El propósito del secado es producir una pasta fuerte y estable. La humedad es removida de la superficie de la pasta por una corriente de aire caliente, creando un gradiente de humedad dentro de la pasta (Sissons, 2004). Existen tres procesos de secado de acuerdo con la temperatura utilizada, el secado a temperatura normal alrededor de 50 °C durante 18 horas, este proceso de secado es el utilizado de forma tradicional para la elaboración de pastas. El secado a temperaturas altas (60- 75 °C, ≈ 8 horas) y el secado a ultra altas temperaturas (85- 105 °C ≈ 4 0 5 horas). Estos últimos dos métodos de secado tienen como ventaja menores tiempos de secado en comparación de los tiempos de secado con la temperatura tradicional. Se han descrito distintos métodos de secado para las pastas alimenticias, como el secado en charolas, secado con aire asistido por microondas, secado por tambor rotatorio utilizando aire calentado asistido por microondas a contra corriente, y utilizando presecado, estos métodos han demostrado tener una reducción de tiempo de secado, mejora en los atributos de color y textura a comparación de una pasta con secado tradicional.

Antognelli (1980) reportó que la pasta de trigo es un alimento nutricionalmente no balanceado, esto debido a su escaso contenido de grasa y fibra dietética, y al bajo valor biológico presente en su proteína, la cual no aporta los aminoácidos esenciales para el ser humano. 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) esto con el fin de mejorar la

calidad nutricional de las pastas. Con estas formulaciones se han logrado mejoras en el color, textura, calidad culinaria entre otros atributos deseables en pastas.

Es posible la sustitución de sémola de trigo por harinas obtenidas a partir de distintas fuentes de origen vegetal, esto con el objetivo de mejorar la calidad proteica de la pasta y sus propiedades funcionales. Es por ello que Moringa oleifera representa una alternativa para ser utilizada como ingrediente, ya que la harina obtenida a partir de sus hojas puede ser incorporada como ingrediente en la formulación de alimentos con características nutricionales y funcionales derivadas de los compuestos bioactivos que contienen.



## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL**

Evaluar el efecto de la formulación y de las variables del proceso (secado y cocción) sobre las propiedades finales de una pasta tipo lasaña adicionada con harina de *Moringa oleifera*.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de las variables del proceso de pre-secado y secado (temperatura, velocidad de aire) y de la formulación de las pastas sobre la composición químico proximal, color, actividad de agua, el contenido de fenoles totales (CFT), la actividad antirradical (AAR), y el perfil ácidos grasos para pastas secas.
- Evaluar el efecto de la cocción sobre la composición químico proximal, color, actividad de agua, el contenido de fenoles totales (CFT), la actividad antirradical (AAR), el perfil ácidos grasos y calidad culinaria para pastas cocidas.

## **5 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Materia prima**

Para llevar a cabo el presente trabajo, se utilizó harina de *Moringa oleífera*, la cual fue obtenida por deshidratación de hojas frescas cosechadas (Enero 2016) a partir de ejemplares localizados en la Universidad del Papaloapan campus Tuxtepec. La sémola de trigo duro a granel fue adquirida con la empresa MUNSA molinos, S.A. de C.V fabricante de materias primas para la industria alimentaria ubicada en Toluca, México, mientras que la harina de trigo duro (marca San Blas®) fue adquirida en el comercio local. El resto de los componentes empleados incluyendo claras de huevo pasteurizadas (marca San Juan®), sal (marca La Fina ®) y aceite de oliva extra virgen (marca Carbonell®) también fueron adquiridos del comercio local.

### **5.2 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 gálico y Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) fueron adquiridos en Sigma-Aldrich. El hexano, la acetona, metanol absoluto y 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.

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

La harina se obtuvo a partir de las hojas frescas de moringa cosechadas en la Universidad del Papaloapan, campus Tuxtepec. Las hojas fueron deshidratadas 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-Landa (2013). Posteriormente, las hojas se molieron para reducir el tamaño de partícula y la harina obtenida se tamizó (malla No. 80) hasta obtener un polvo fino. La harina obtenida se almacenó en bolsas tricapa selladas mantenidas a 24 °C para su posterior uso.

#### 5.4 Proceso de elaboración de las pastas

La pasta tipo lasaña se preparó con 3 diferentes formulaciones, una pasta testigo elaborada con harina y sémola de trigo durum (30:70) y pastas enriquecidas sustituidas con dos diferentes porcentajes de harina de moringa (Tabla 5.1). Cada formulación se realizó por duplicado.

**TABLA 5.1.** Formulaciones de pasta tipo lasaña.

Ingredientes	Pasta tipo lasaña % p/p de sustitución		
	Testigo	3%	6%
Harina de trigo	30	29.1	28.2
Sémola de trigo	70	67.9	65.8
Harina de moringa	0	3	6

##### 5.4.1 Mezclado y amasado

El proceso de elaboración inició pesando la materia prima seca (sémola de trigo, harina de trigo, harina de moringa y sal) para formar la mezcla para la elaboración de la pasta. La mezcla formada fue tamizada a fin de evitar formación de grumos y facilitar el mezclado de la masa. Posteriormente se pesaron los insumos húmedos (clara de huevos y aceite de oliva) y se incorporaron a la materia prima seca para comenzar el proceso de amasado.

El proceso de amasado se llevó a cabo utilizando una batidora planetaria (Modelo FPSTSMPL, Marca Oster), procurando incorporar de manera homogénea toda la mezcla. El tiempo de amasado fue de 20 min, posteriormente se dejó reposar la masa durante 30 min, y después se realizó un segundo amasado de 20 min para garantizar la homogeneidad de la masa.

##### 5.4.2 Extrusión

Una vez obtenida la masa, se procesó en un extrusor (Simac MX 700) empleando un dado plano para la producción de pasta tipo lasaña. Las dimensiones de las placas de pasta fueron 10 cm x 4 cm x 0.001 cm.

### **5.4.3 Presecado**

La elaboración de las pastas se comenzó con un pre-secado en diferentes tiempos 0, 20, 40 min a 35°C y velocidad de aire de 1 m/s, esto con la finalidad de mejorar la calidad culinaria de las pastas (Petitot *et al.*, 2009) y reducir el contenido de agua en ellas.

### **5.4.4 Secado**

Para acondicionar la pasta, se sometieron a un proceso de secado con dos diferentes temperaturas (50 y 60 °C). Este proceso se llevó a cabo en un secador de bandejas (Marca APEX, modelo A39854-14) con velocidad de aire de 1 m/s. El propósito del secado fue reducir el contenido de humedad inicial de la pasta (procedente de la extrusión y las procedentes del pre-secado) desde un 30% hasta un contenido de humedad final de 10% b.s, de acuerdo con las características de calidad establecidas por el CODEX STAN 178-1991.

## **5.5 Análisis químico proximal**

### **5.5.1 Determinación del Contenido de humedad**

El contenido de humedad de las pastas se determinó por pérdida de peso empleando el método de estufa de vacío 32.1.03 del AOAC (2000). Se tomaron muestras por triplicado de  $1 \pm 0.1$  g y se colocaron en charolas de aluminio previamente llevadas a peso constante. Posteriormente. Las muestras se colocaron en una estufa al vacío a 60°C y 600 mbar hasta un peso constante. Esta técnica fue utilizada para pastas crudas y cocidas.

### **5.5.2 Determinación de lípidos**

El contenido de lípidos se cuantificó por el método 7.056 de la AOAC, 1980 se determinó utilizando un sistema de extracción micro Soxhlet. Para lo cual se pesó  $1 \pm 0.05$  g de muestra de pasta previamente molida en un mortero. Se empleó éter de petróleo como disolvente de extracción.

### **5.5.3 Determinación de cenizas**

El contenido de cenizas de las pastas se determinó colocando  $1 \pm 0.05$  g de muestra de pasta en un crisol previamente puesto a peso constante, posteriormente fueron sometidos a un proceso de calcinación en un quemador de parrilla, hasta que dejó de desprender humos. Después se colocó la muestra en una mufla durante 5 h cuidando que la temperatura no excediera los 550°C. Se pesó en una balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 g.

#### **5.5.4 Determinación de proteínas**

Para la determinación de nitrógeno se siguieron los métodos 2.057 y 14.026, (AOAC, 1980), usados para evaluar el contenido de nitrógeno proteico por el método de Kjeldahl, con un factor de conversión de 5.85 que es el utilizado para determinar el contenido proteico en pastas alimenticias.

#### **5.5.5 Determinación de color**

El color de las pastas se determinó empleando un colorímetro (Hunter Lab, mod. Mini Scan, U.S.A) que utiliza el sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . El instrumento se calibró con una teja blanca y una trampa de luz. Cada medición se realizó por triplicado.

#### **5.5.6 Determinación de la actividad de agua**

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

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

Para la determinación del contenido de fenoles totales (CFT) y la actividad antirradical (AAr) de las pastas, se obtuvo 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 que se determinó en las pruebas preliminares. La muestra cocida se escurrió, se enfrió y se congeló para ser liofilizada. Antes de ser analizadas, las muestras se molieron con ayuda de un mortero y pistilo 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). La muestra de pasta molida (1 g en base seca), se mezcló con 10 mL de una solución de etanol: agua (80:20, v/v) y se colocó en un baño ultrasónico durante 30 minutos a  $20 \pm 1$ °C. Finalmente, se filtró con ayuda de papel Whatman No. 5. Los extractos se almacenaron en frascos color ámbar y a temperatura de -5°C hasta su posterior uso.

### 5.5.8 Determinación del contenido de fenoles totales

Se realizó por el método de Folin-Ciocalteu, según lo descrito por Chumark *et al.*, (2008). Se mezclaron 100 µL del extracto con 6 mL de agua destilada y se agitó con un equipo vortex durante 10 s. 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 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 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 una incubadora a 25 ± 1 °C y posteriormente se realizaron las lecturas espectrofotométricas 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. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de base seca del extracto (mg EAG/100 g bs).

### 5.5.9 Determinación de la actividad antirradical por 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 obtenida 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 ± 1 °C. La absorbancia se midió a 517 nm. 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 diluirá para obtener 0.8, 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 y 0.025 mg/mL. La referencia se preparará con todos los reactivos a excepción de la muestra que fue sustituida por el disolvente de extracción.

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).

$$\%AAr = \left[ 1 - \frac{A_m}{A_R} \right] * 100$$

Ec. 1.

Donde, AAr es la actividad antirradical, A<sub>m</sub> la absorbancia de las muestras y A<sub>R</sub> la absorbancia de la referencia.

**5.5.10 Determinación de la actividad antirradical por ABTS**

Para la formación de radicales, a una solución acuosa de persulfato de potasio (0.0066 g en 5 mL) se adicionó una solución de ABTS (0.0384 g en 5 mL de agua) y se dejó en oscuridad durante 16 h a  $25 \pm 1$  °C. Esta solución se diluyó con etanol absoluto hasta alcanzar una absorbancia de  $0.7 \pm 0.05$  a 734 nm, generalmente en una proporción radical ABTS: etanol absoluto de 1:100. Para la determinación se colocaron 980  $\mu$ L del radical diluido y se adicionaron 20  $\mu$ L de extracto (de pasta de moringa), después de 7 min se midió la absorbancia a 734 nm (Re *et al.*, 1999). La solución de referencia se obtuvo añadiendo 20  $\mu$ L del disolvente de extracción en lugar del extracto. El porcentaje de inhibición se calculó utilizando la Ec. 1.

**5.5.11 Perfil de ácidos grasos**

Para la determinación de ácidos grasos en un matraz de 50 mL con tapa se colocó 1 g de pasta seca, se añadieron 20 mL de disolvente de Folch (Metanol: Cloroformo), posteriormente fue sometido en un baño ultrasónico durante 20 minutos. Pasado este tiempo se añadieron 10 mL de cloroformo al matraz y se dejó en agitación durante 3 min. La mezcla fue filtrada utilizando un Kitazato y papel filtro #1, Lo filtrado se mezcló con 10 mL de NaCl 1 M y se colocó en un embudo de separación hasta que se observara una clara separación de fases. Se recuperó la fase clorofórmica y se agotó utilizando nitrógeno para recuperar los lípidos en un tubo de ensayo. Se pesaron 10 mg del lípido recuperado y se colocó en un tubo de ensayo, se añadieron 1.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M y se mantuvo a 60°C durante 30 min. Pasado el tiempo se enfrió en un baño de hielo y se agregaron 2 mL de hexano y fue agitada. A la mezcla se le añadieron 2.5 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, se centrifugó a 3500 rpm durante 10 min. El sobrenadante fue transferido a un vial ámbar para su posterior caracterización.

El perfil de ácidos grasos fue determinado por cromatografía de gases utilizando una columna de 60 m x 250  $\mu$ m x 0.25  $\mu$ m de acuerdo con el método reportado de Sánchez-Machado *et al.*, 2010. El puerto de inyección se mantuvo a 200 °C y se utilizó N<sub>2</sub> como gas acarreador a un flujo de 1.5 mL /min. El detector se mantuvo a 240 °C, la temperatura inicial del horno fue a 150 °C y se aumentó 15°C por minuto hasta llegar a 200 °C y se mantuvo a esa temperatura durante dos minutos, pasado este tiempo se aumentó 2 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura de 220 °C y se mantuvo ahí por 5 minutos, transcurrido el tiempo se aumentó la temperatura 2 °C por minuto hasta llegar a 240 °C y se mantuvo durante 5 min. La cantidad relativa de cada ácido graso (porcentaje del total de ácidos grasos) fue cuantificada por integración del área bajo la curva y dividiendo el resultado entre el área total de todos los ácidos grasos.

## 5.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar el efecto de las distintas formulaciones y condiciones de secado y pre secado sobre las pastas adicionadas con harina obtenida a partir de hojas de *Moringa oleífera* se utilizó un diseño factorial  $3^2 \times 2$  con dos repeticiones para cada formulación y condición de secado. La concentración de harina de moringa, los tiempos de presecado y las temperaturas de secado, las cuales constituyen las variables independientes cuantitativas del proceso fueron evaluados a diferentes niveles.

Las variables de respuesta ( $y_i$ ) fueron el contenido de humedad (%b.s.), actividad de agua, contenido de fenoles totales, compuestos con actividad antioxidante por ABTS y DPPH, color, determinación del contenido químico proximal en pastas (proteína, lípidos, cenizas)

**TABLA 5.2** Niveles evaluados de las variables de operación del proceso de secado en pastas adicionadas con harina de *Moringa oleífera*

Temperatura de secado	Tiempo de pre secado (min)	Concentración de Moringa (%)
	0	0
50 °C	20	3
	40	6
	0	0
60 °C	20	3
	40	6

Dichas variables se ajustaron al siguiente modelo (EC. 2) Incluyendo términos lineales y sus interacciones para obtener los estimadores de los parámetros ( $\beta_i$ ) mediante regresión lineal multivariado, con el fin de conocer el comportamiento de las variables independientes en los diferentes niveles de los parámetros evaluados. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA) para definir los parámetros significantes para cada respuesta ( $p < 0.05$ )



$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{23}x_2x_3 \quad \text{Ec.2}$$

Donde las variables independientes son:

$X_1$ = Concentración de harina de *Moringa oleífera*

$X_2$ = Tiempo de pre secado

$X_3$ = Temperatura de secado

Y las variables dependientes corresponden a cada una de las respuestas evaluadas:

$Y_1$ = % H bs: Porcentaje de humedad en base seca

$Y_2$ = % Proteína

$Y_3$ = % Lípidos

$Y_4$ = % Cenizas

$Y_5$ = Aw: Actividad de agua

$Y_6$ = Color

$Y_7$ = Contenido de fenoles totales para pastas secas

$Y_{7b}$ = Contenido de fenoles totales para pastas cocidas

$Y_8$ = Contenido de antioxidantes en pastas secas (DPPH)

$Y_{8a}$ = Contenido de antioxidantes en pastas cocidas (DPPH)

$Y_9$ = Contenido de antioxidantes en pastas secas (ABTS)

$Y_{9a}$ = Contenido de antioxidantes en pastas cocidas (ABTS)

$Y_{10}$ = Tiempo de cocción de las pastas

$Y_{11}$ = % de sedimentación

$Y_{12}$ = Grado de hinchamiento

$Y_{13}$ = Ganancia de peso

$Y_{14}$ = Ácidos graso

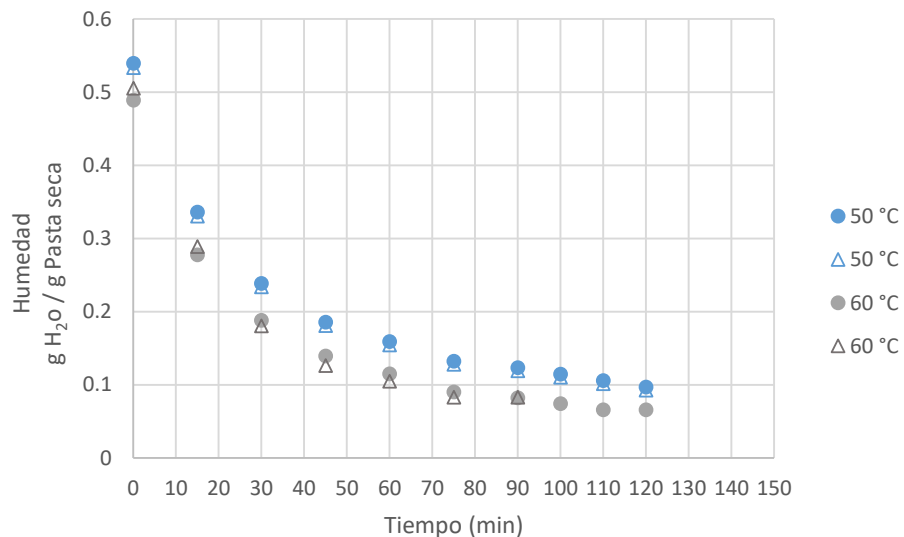
**RESULTADOS**

Las pastas alimenticias son una importante fuente de alimentación alrededor del mundo, (Marchylo & Dexter, 2004). Estas contienen predominantemente almidón y proteínas. El objetivo principal de estos componentes en las pastas es proporcionar firmeza, pero también establecer una red de proteínas-almidón que dan resistencia durante la cocción (Sissons, 2004). De forma general esto conduce a propiedades deseables de calidad culinaria en las pastas. Dentro de estas propiedades deseables se tiene la característica “al dente” (firmeza moderada y elasticidad alta), sin superficie pegajosa, buena integridad, color amarillo y sabor agradable (Marchylo & Dexter, 2004). El proceso de presecado y secado ayuda a mejorar estas propiedades características en las pastas. Es por ello que es de interés estudiar a fondo el efecto que proporciona una combinación de estos procesos a diferentes temperaturas sobre las pastas adicionadas con harina de *Moringa oleífera*.

**6.1 Cinéticas de secado**

Las cinéticas de secado son una herramienta de gran utilidad, ya que en ellas se muestra en la evolución de la humedad del producto, en este caso las pastas, en función de la temperatura del aire de secado utilizado. En las secciones siguientes se muestran los resultados del secado de las pastas tipo lasaña con y sin presecado.

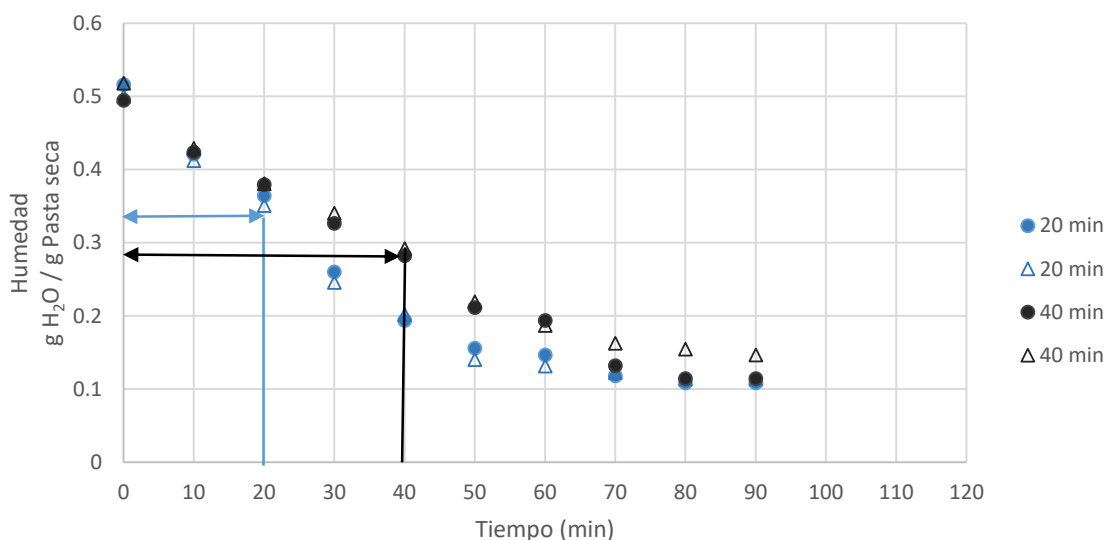
**6.1.1 Cinéticas sin presecado**



**FIGURA 6.1.** Cinética de secado de pasta a 50 °C y 60 °C sin presecado

En la figura 6.1 se puede observar el proceso de secado de pastas a dos temperaturas (50 °C y 60 °C), en esta se muestra que para poder llegar a una humedad de 10 % en base seca (humedad comercial de acuerdo a la norma mexicana) utilizando aire a 50°C se requieren 90 minutos, y para el caso de 60°C, 75 min, en la figura 6.1 se aprecia el contenido de humedad inicial de las pastas 0.52 g H<sub>2</sub>O / g pasta seca , la cual disminuye con una velocidad de secado constante hasta los 30 minutos del proceso , es a partir de ese momento que comienza la velocidad de secado crítica, en la cual observamos una disminución de la velocidad de secado, por consiguiente existe un efecto de la temperatura de secado sobre el tiempo que toma llegar a la humedad de equilibrio en cada una de las pastas.

**6.1.2 Cinéticas con presecado (20 y 40 minutos)**



**FIGURA 6.2.** Cinética de secado a 50 °C con presecado de 20 y 40 min a 35 °C

En las Figuras 6.2 y 6.3, se observan las cinéticas de secado obtenidas a 50 °C y 60 °C, con presecado a 35 °C a 20 y 40 min. En comparación con la figura 6.1 podemos apreciar que la velocidad de secado constante para las figuras 6.2 y 6.3 es hasta los 40 min en el proceso, 10 minutos que en los tratamientos sin presecado, esto se atribuye a la formación de una costra en la parte superficial de las pastas, la cual constituye una resistencia a la salida del agua y por lo tanto una disminución de la velocidad de secado. la pérdida de agua durante el secado. Se puede apreciar que

independientemente del tratamiento de presecado utilizado, la humedad de equilibrio se alcanzó al mismo tiempo para las 2 temperaturas de secado probadas. Esta similitud se atribuye al proceso de presecado, donde hay una notable pérdida del contenido de humedad con la cual entran las pastas al secador

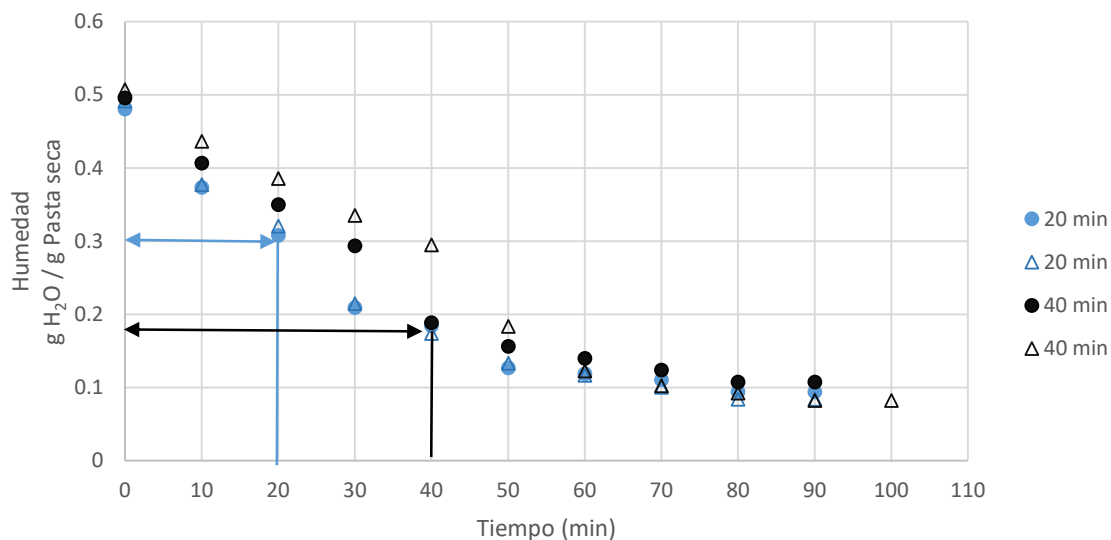


FIGURA 6.3. Cinética de secado a 60 °C con presecado de 20 y 40 min a 35 °C

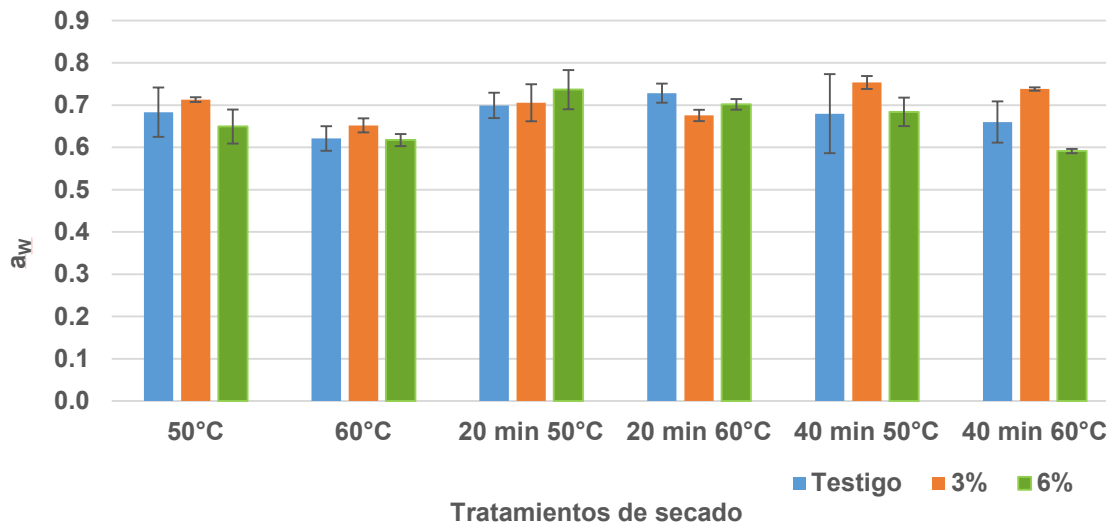
## 6.2 Efecto de las variables del proceso de secado sobre la humedad y la $a_w$ de la pasta

Los procesos de concentración y deshidratación se aplican principalmente para reducir el contenido de agua presente en un alimento, aumentando simultáneamente la concentración de solutos y aumentando su vida de anaquel. Se ha observado que diferentes tipos de alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su estabilidad o vida útil. En consecuencia el contenido de agua por sí solo no es un indicador real de la estabilidad. El término “Actividad de agua ( $a_w$ )” se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos presentes en los alimentos (Badui, 2006)

### 6.2.1 Actividad de agua en pastas testigo y fortificadas al final de los diferentes tratamientos de secado

Una de las principales variables en la predicción de la estabilidad de los alimentos es la actividad de agua ( $a_w$ ). El deterioro en alimentos está íntimamente relacionado con esta variable, ya que determina el agua que se encuentra disponible para la proliferación de microorganismos y

diversas reacciones de la matriz alimentaria. En la Figura 6.4 se muestran los resultados de actividad de agua encontrados en los diferentes tratamientos realizados a las pastas enriquecidas con moringa



**FIGURA 6.4.** Efecto de la concentración de moringa y las condiciones de secado sobre la actividad de agua de la pasta deshidratada.

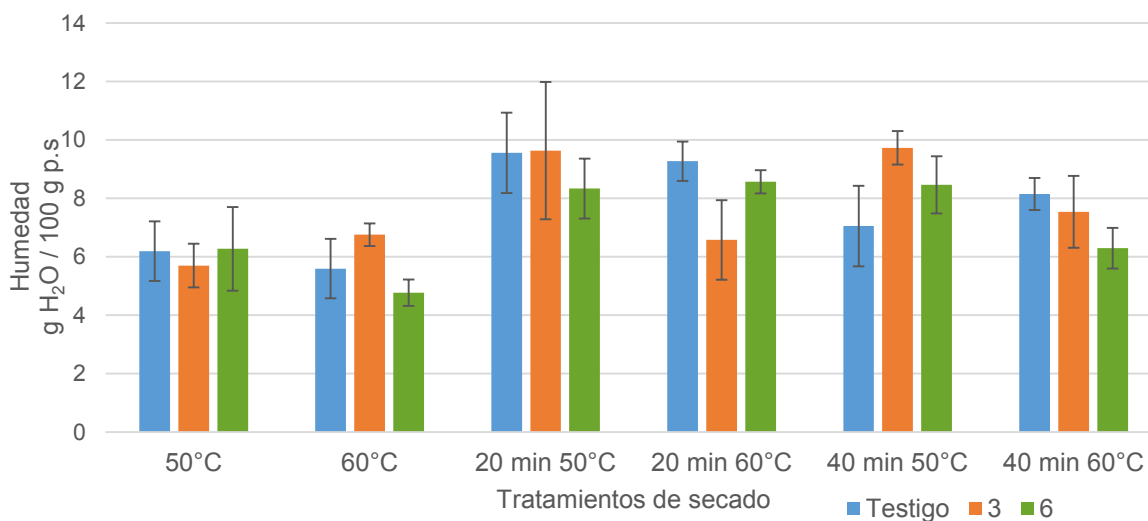
Existen diversos estudios relacionados con la elaboración y formulación de pastas alimenticias, sin embargo no reportan valores de actividad de agua para los productos elaborados. En la figura 6.4 se puede observar que los valores de  $a_w$  de las pastas obtenidas en este trabajo están en un intervalo de 0.591 - 0.753, por lo que pueden considerarse como un alimento de humedad intermedia los cuales tienen una larga vida de anaquel (Badui, 2006) y no necesitan de rehidratación o de refrigeración para su conservación. La  $a_w$  no presentó tener efecto ante los distintos tratamientos de formulación y condiciones de secado, las cuales no mostraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los distintos tratamientos

### 6.2.2 Humedad en pastas fortificadas al final de los diferentes tratamientos de secado

De acuerdo con la NMX-F-023-S-1980 la humedad de la masa para la fabricación de pastas alimenticias debe ser en un inicio de 30-40 %, esto considerando las humedades de los componentes con los cuales se elaboran las pastas.

La humedad inicial de las masas para la elaboración de pastas de este trabajo se encontraban en promedio de 40.9% en base seca, lo que significa que se parte de una humedad inicial de acuerdo a los requerimientos de la norma.

Podemos observar en la Figura 8 el caso de las pastas sin tratamiento de presecado en las cuales la humedad final que presentan las pastas es alrededor de 5-7% para las pastas secadas a 50 °C y 4.2-7 % para las pastas de 60 °C, siendo la pasta adicionada con 6% de harina de moringa y secada a 60 °C la que presenta menor contenido de humedad. Para las pastas con tratamientos de presecado, se puede observar en la Figura 6.5 que no existe diferencia en el contenido de humedad para las pastas de 20 y 40 min de presecado. En un trabajo anterior reportado por Illana, 2015 se determinó el contenido de humedad en placas de lasaña fortificada con harina de moringa, estas fueron secadas a 40 °C, teniendo valores de humedad para las pastas de 6.87-9.56% en b.s. Por lo tanto podemos mencionar que existe un efecto de la temperatura de secado en el contenido de humedad de las pastas adicionadas con harina de moringa, siendo la temperatura de 60 °C la que mostró un menor contenido de humedad.



**FIGURA 6.5.** Humedad de equilibrio de las Pastas adicionadas con 3 % y 6 % de moringa bajo diferentes condiciones de secado y presecado

### 6.3 Efecto de las diferentes condiciones de secado en pastas adicionadas con harina de moringa sobre su contenido bromatológico

Dentro de los objetivos de este trabajo fue mostrar la capacidad que tiene la harina de hojas de moringa para incrementar el aporte nutrimental de las pastas elaboradas. Los análisis proximales confirman un ligero aumento del contenido de nutrientes en las pastas adicionadas con moringa en comparación con la pasta testigo como se puede observar en la tabla 6.1.

Los resultados obtenidos para los parámetros estudiados, humedad, proteína, lípidos y cenizas para las distintas formulaciones de pasta, se encuentran representados en la tabla 6.1.

**TABLA 6.1** Química proximal en pastas después del secado

Muestra	%Humedad	% Proteína	% Lípidos	% Cenizas
Testigo	8.14 ± 0.54	20.29 ± 0.17	1.203 ± 0.44	2.04 ± 0.69
3 %	6.57 ± 1.36	20.80 ± 0.02	1.379 ± 0.02	2.75 ± 0.72
6%	4.77 ± 0.45	21.31±0.76	1.153 ± 0.34	3.75 ± 0.02

Con respecto al contenido de humedad de las pastas después del secado, se observó que a medida que se aumenta el contenido de harina de moringa en las formulaciones, este valor disminuye, esto es atribuido a la disminución del contenido de proteína de trigo (gluten) que proviene de la sémola y harina, ocasionando que la red proteica sea menor y por consiguiente aumente la eliminación del agua durante el proceso de secado. (Granito *et al.*, 2003). Pacheco-Delahaye (2001), reportó un contenido de humedad de 4.40- 4.69 % en sopas deshidratadas elaboradas a base de harina de plátano verde. El valor reportado por los autores son similares a los obtenidos en este trabajo, pero 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 harina de trigo.

En la tabla 6.1 se muestra que la adición de harina de moringa en las formulaciones no produjo diferencia significativa en el contenido, cenizas y lípidos con respecto a la pasta control, mientras que simultáneamente provocó una disminución en el contenido de humedad y un aumento en el contenido de proteína. De acuerdo con lo anterior el contenido de proteína mostró diferencia significativa entre formulaciones con respecto al control, la formulación con un 6 % de harina de moringa mostró un contenido de proteína de 21.31%. De acuerdo con la norma NMX-F-023-S-1980, el

contenido de proteína en pastas de trigo, debe ser como mínimo del 8%, de manera que todas las pastas superan el límite mínimo indicado por la norma mexicana.

El contenido de cenizas incrementó de 2.04-3.75% con la adición de harina de *Moringa oleífera*, en un trabajo anterior (Illana, 2015) se observó la misma tendencia en pastas adicionadas con harina de moringa con porcentajes de sustitución de 1, 3, 5,7% teniendo resultados en cenizas de 2.61-3.13 %. Esto es atribuido al alto contenido de minerales presentes en las hojas de moringa (Verma *et al.*, 1976). Acosta-Rueda (2007), observó un aumento en el contenido de minerales por la adición de diferentes variedades de sémola de cebada 0.73–1.39 %. 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. En los dos casos, los valores de contenido de cenizas reportados son menores a los encontrados en este trabajo. Demostrando que al utilizar harina de *Moringa oleífera* aumentamos el contenido de ceniza para las pastas incrementando el contenido de sales, las cuales son necesarias para funciones biológicas en el organismo.

Se observó una disminución en el contenido de lípidos a medida que aumentaba la cantidad de harina de moringa en las pastas, esto se puede atribuir 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 un aumento de la fracción del almidón (Juárez-García *et al.*, 2006). Estos valores son similares a los reportados por Acosta-Rueda (2007), para muestras de pastas a partir de diferentes variedades de sémola de cebada, en las cuales observó una disminución del contenido de lípidos a medida que suplementaba la sémola de trigo por sémola de cebada.



**6.4 Efecto de la adición de harina de moringa sobre los parámetros de color en pastas crudas**

El color es un importante atributo para la calidad de un alimento. El color de una pasta sin aditivos depende regularmente de las propiedades de la harina y la semolina, así como el contenido de carotenoides y proteína en ellas (Ohm *et al.*, 2008). Las pastas con un color amarillo brillante son por lo general las que tienen una mayor aceptación por parte de los consumidores (Debbouz *et al.*, 1995).

**TABLA 6.2** Parámetros de color de las pastas deshidratadas a 50 °C y 60 °C con y sin presecado

Tratamientos		L	H°	C*
50 °C	Testigo	75.13 ± 0.26 <sup>a</sup>	75.63 ± 0.01 <sup>abc</sup>	21.32 ± 0.21 <sup>a</sup>
	3%	54.34 ± 1.98 <sup>bc</sup>	121.56 ± 0.72 <sup>abcde</sup>	27.45 ± 1.86 <sup>a</sup>
	6%	48.04 ± 1.27 <sup>d</sup>	91.76 ± 0.02 <sup>e</sup>	26.39 ± 1.71 <sup>a</sup>
60 °C	Testigo	75.80 ± 0.87 <sup>a</sup>	76.20 ± 0.00 <sup>ab</sup>	22.35 ± 1.11 <sup>a</sup>
	3%	58.10 ± 0.16 <sup>b</sup>	92.34 ± 0.02 <sup>bcde</sup>	29.44 ± 1.73 <sup>a</sup>
	6%	49.61 ± 0.71 <sup>cd</sup>	94.63 ± 0.02 <sup>abcde</sup>	29.73 ± 0.62 <sup>a</sup>
20 min 50°C	Testigo	75.44 ± 0.48 <sup>a</sup>	76.20 ± 0.03 <sup>abc</sup>	21.63 ± 1.16 <sup>a</sup>
	3%	54.11 ± 0.28 <sup>bc</sup>	120.99 ± 0.71 <sup>abcde</sup>	29.06 ± 4.56 <sup>a</sup>
	6%	47.56 ± 0.30 <sup>d</sup>	92.34 ± 0.02 <sup>de</sup>	27.32 ± 3.67 <sup>a</sup>
20 min 60°C	Testigo	73.64 ± 1.20 <sup>a</sup>	75.63 ± 0.04 <sup>abcd</sup>	22.79 ± 0.69 <sup>a</sup>
	3%	54.94 ± 2.10 <sup>bc</sup>	150.78 ± 1.44 <sup>abcde</sup>	29.87 ± 2.76 <sup>a</sup>
	6%	46.46 ± 1.77 <sup>d</sup>	92.34 ± 0.04 <sup>cde</sup>	26.51 ± 4.90 <sup>a</sup>
40 min 50°C	Testigo	74.64 ± 0.04 <sup>a</sup>	76.80 ± 0.00 <sup>a</sup>	24.43 ± 0.77 <sup>a</sup>
	3%	56.38 ± 1.95 <sup>b</sup>	180.00 ± 0.74 <sup>abcde</sup>	29.22 ± 1.28 <sup>a</sup>
	6%	48.44 ± 1.42 <sup>d</sup>	179.43 ± 2.18 <sup>abcde</sup>	29.98 ± 2.57 <sup>a</sup>
40 min 60°C	Testigo	73.75 ± 1.28 <sup>a</sup>	77.35 ± 0.00 <sup>a</sup>	24.45 ± 0.53 <sup>a</sup>
	3%	53.97 ± 2.90 <sup>bc</sup>	120.41 ± 0.01 <sup>abcde</sup>	29.00 ± 0.06 <sup>a</sup>
	6%	48.08 ± 0.97 <sup>d</sup>	92.91 ± 0.01 <sup>cde</sup>	30.24 ± 0.51 <sup>a</sup>

En la industria de fabricación de pastas se utilizan regularmente técnicas para la determinación del color, las cuales emplean valores triestímulo L, a\* y b\* o una combinación de las mismas para obtener C\* y H°. El eje de L representa la luminosidad y sus valores corresponden de 0 (negro) a 100 (blanco). Los valores de C\* indican el grado de saturación del color en las muestras y los H° representa el ángulo del tono, y se expresa en grados que van de 0 a 360°.

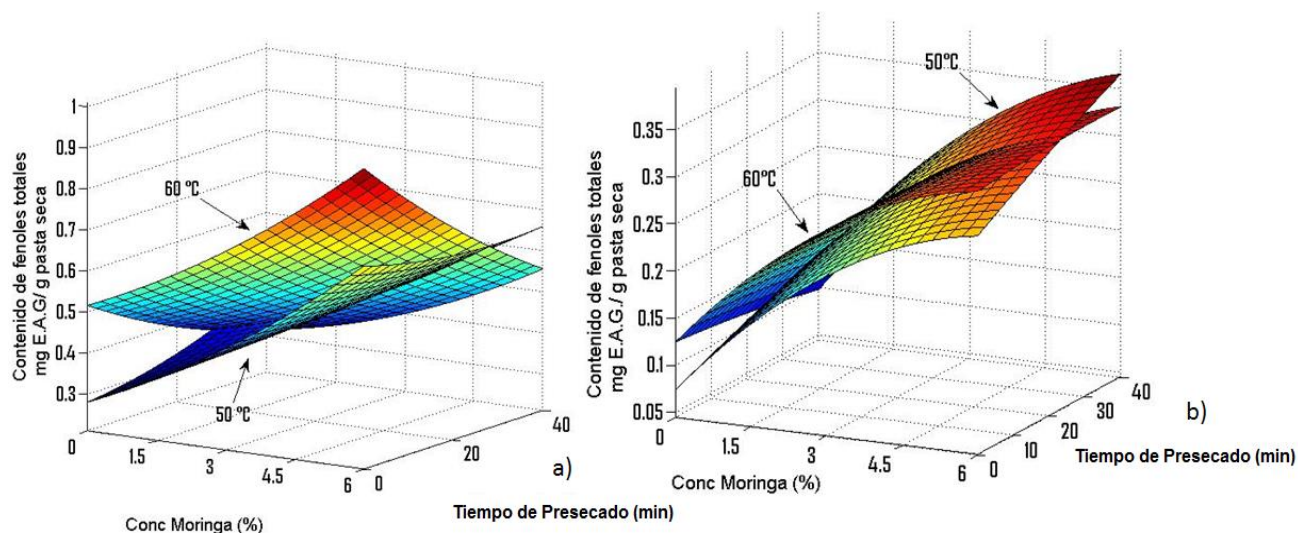
En la Tabla 6.2 se muestra que la luminosidad (L) de la pasta tipo lasaña disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) a medida que la concentración de harina de moringa se incrementó en el producto, en sustitución de la semolina de trigo. Los valores de L obtenidos en las pastas testigo y adicionadas se encontraron en el rango de 75.80-46.46. Estos valores de L fueron mayores a los reportados por Biernacka *et al.*, (2016) para muestras de espagueti adicionadas con 1, 2, 3, 4, 5 % p/p con harina de algarroba los cuales fueron 39.6, 31.8, 31.0, 28.1, 26.5 respectivamente. Podemos observar que a medida que se sustituye la sémola de trigo por diversos componentes alimenticios se ve un efecto importante sobre este parámetro de color lo cual se atribuye al color característico de la sémola de trigo, se observa además un efecto en los valores de L debido a la temperatura de secado, a mayor temperatura de secado es mayor el valor de L para cada una de las formulaciones, siendo los tratamientos sin presecado los que muestran un aumento en el brillo de las pastas. Con respecto a H° se obtuvieron valores de 75.63-77.35 para las pastas testigo y 91.76-180 para las pastas adicionadas con harina de moringa, estos valores corresponden al color amarillo de las pastas testigo y al color verde para las pastas adicionadas, esto de acuerdo a la escala CIE LAB. Lo anterior coincide con lo esperado, debido a que la harina de moringa posee un color verde oscuro debido a la presencia de pigmentos (clorofila) y al ser incrementada en las formulaciones, el color verde se intensifica. Los valores de C\* no mostraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los distintos tratamientos, mientras que los procesos de presecado y secado no tuvieron efecto sobre los parámetros de color medidos.

### **6.5 Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre el contenido de fenoles totales en pastas cruda y cocida**

Los compuestos fenólicos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, representan una de las clases más importantes de metabolitos secundarios en plantas y constituyen un amplio grupo de sustancias con diferentes estructuras químicas y actividades metabólicas. Existen más de 800 compuestos fenólicos identificados (Shahidi y Nazk, 1995), los cuales están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal, frescos y procesados. En general, se ha reportado que los alimentos provenientes de cereales, aportan muy poca cantidad de compuestos fenólicos, ya que gran parte de estos son degradados en el proceso de refinado (Cárdenas, 2008). De

acuerdo a lo reportado en bibliografía, las hojas de *Moringa oleifera* presentan un alto contenido de compuestos fenólicos, por lo tanto la adición de harina proveniente de hojas de moringa puede incrementar la concentración de fenoles y de esta manera se puede obtener un alimento con propiedades funcionales.

En la determinación de fenoles totales realizada en las pastas, las formulaciones con 3 % y 6 % de harina de moringa adicionada, mostraron mayor contenido de fenoles que la muestra control como se observa en la figura 6.6a y 6.6b. La tendencia muestra que a mayor concentración de harina de moringa, aumenta la concentración de los compuestos fenólicos presentes en las pastas. A su vez se observa que en el caso de las pastas secas, existe una reducción de los fenoles relacionada con las condiciones de pre-secado y secado, siendo las muestras con pre-secado las que presentan una mayor reducción de estos compuestos.

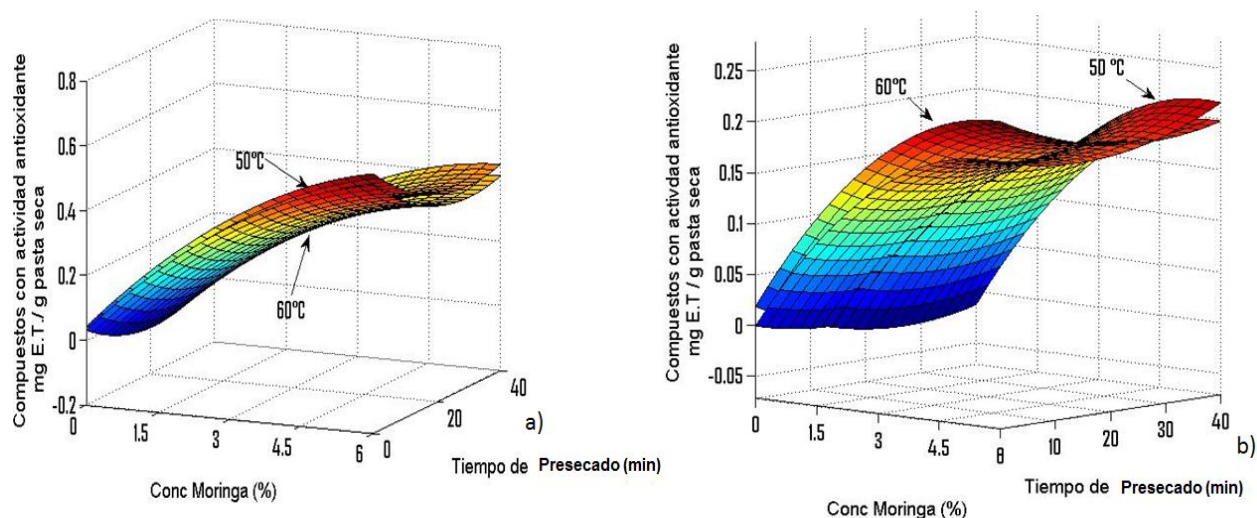


**FIGURA 6.6 .** Contenido de compuestos fenólicos en pastas crudas y cocidas

El proceso de cocción provoca una reducción de los compuestos fenólicos presentes en la pasta, esto es un efecto esperado, ya que una de las características principales de estos compuestos, es su sensibilidad a altas temperaturas. Sin embargo, se puede observar en la figura 6.6b un mayor efecto de conservación de los compuestos fenólicos en las muestras con tratamiento de presecado, siendo la muestra de 6 % de harina de moringa con 40 min de presecado y 50°C la que mostró la mayor retención de los compuestos fenólicos después de la cocción. Esto puede ser atribuido a la matriz proteica y el gluten en la pasta, los cuales forman una costra externa, la cual disminuye las posibles lixiviaciones y descomposición térmica de los compuestos fenólicos.

### 6.6 Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la actividad antirradical por DPPH para pastas crudas y cocidas

En la prueba para la cuantificación de la capacidad antioxidante (DPPH) se observa en la figura 10a para las pastas secas un incremento de la actividad, a medida que se aumentó la concentración de harina de *Moringa oleífera*, la actividad antirradical en las pastas testigo no pudo ser detectada por la técnica de DPPH esto debido a la sensibilidad que presenta la prueba. Se presentó una reducción de la actividad antirradical en las pastas a las cuales se les dio un tratamiento de presecado, esto concuerda con la disminución similar presentada en los compuestos fenólicos los cuales también presentaron una reducción ante los tratamientos de pre-secado. Esta reducción puede ser atribuida al tiempo de exposición al oxígeno al cual las pastas estuvieron sometidas.



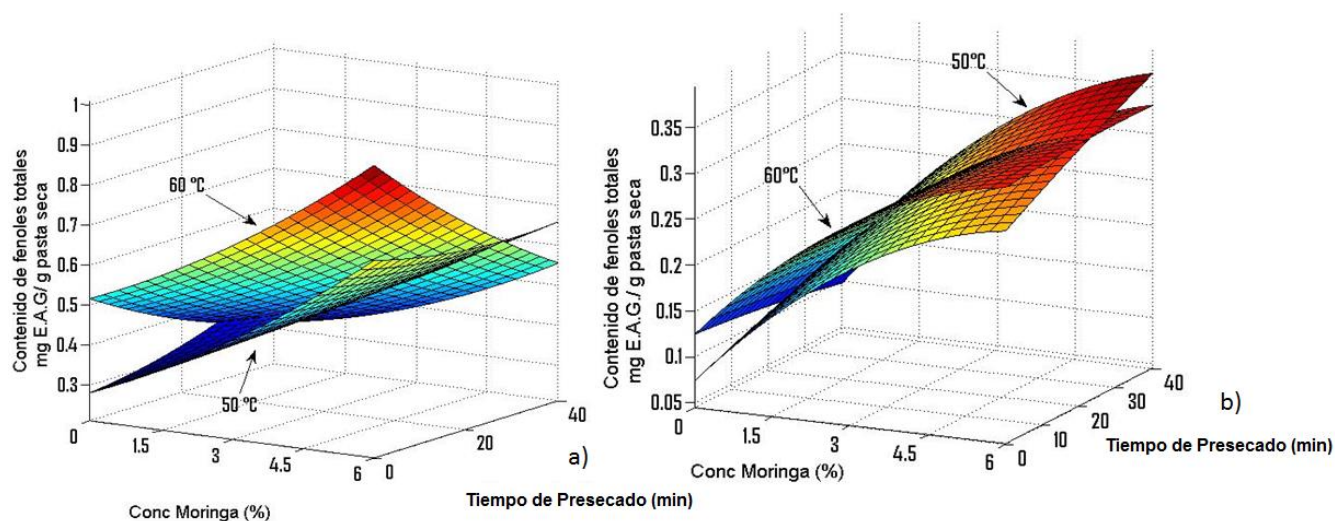
**FIGURA 6.7.** Contenido de antioxidantes en pastas crudas y cocidas por DPPH

En la figura 6.7b se observan las pastas cocidas, las cuales presentaron una disminución de la capacidad antioxidante, esto se atribuye a la degradación de los compuestos antioxidantes inducida por el calor, al realizar la cocción de la pasta provocó la disminución de los compuestos antioxidantes en las pastas. Se observa que fueron los tratamientos con presecado los que tuvieron una mayor retención de los compuestos antioxidantes. Siendo la muestra de 6 % de harina de moringa con 40 min de presecado y 50°C la que mostró la mayor retención de compuestos antioxidantes después de la cocción. Esto puede ser atribuido a la matriz proteica y el gluten en la pasta, los cuales forman una costra externa, la cual disminuye las posibles lixiviaciones y descomposición térmica de los compuestos fenólicos.

**6.7 Efecto de la formulación y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la actividad antirradical por ABTS para pastas crudas y cocidas**

En extractos provenientes de alimentos de origen herbal, se utilizan ampliamente los ensayos de DPPH y ABTS. Ambos radicales libres pueden ser neutralizados por reducción directa vía transferencia de electrón o por inactivación de radicales vía transferencia de átomos de hidrógenos (Vázquez, 2013). El porcentaje de esta inhibición de radicales es proporcional al contenido de compuestos bioactivos antioxidantes. Sin embargo, muchos de estos compuestos que reaccionan fácilmente con los radicales peroxilo involucrados en la peroxidación lipídica, como carotenoides, podrían reaccionar lentamente o ser inertes ante el ensayo de DPPH (Prior et al., 2005). Por lo tanto, para una adecuada interpretación de los resultados, en esta investigación se emplearon simultáneamente ambos métodos.

Se observa que los equivalentes de trolox en las pastas crudas son mayores en ABTS esto puede ser atribuido a que este radical libre es sensible a aquellos compuestos que retarden la peroxidación lipídica, los cuales han sido reportados en la clara de huevo (Figueredo *et al.*, 2015). Por el contrario el DPPH es incapaz de reaccionar con compuestos de esta naturaleza.



**FIGURA 6.8.** Actividad antirradical (ABTS) para pastas crudas y cocidas

Para la actividad antirradical de las pastas obtenida por el método de ABTS, se observó un comportamiento similar al obtenido por los métodos de Folin y DPPH. Se puede apreciar en la Figura 6.8a un aumento en el contenido de compuestos antioxidantes en pastas crudas a medida que se incrementa la adición de harina de moringa, siendo las pastas de 6% las que mostraron la mayor concentración de compuestos antioxidantes. En las pastas sin tratamiento de presecado, se encontró

un mayor contenido de compuestos bioactivos, esto puede ser atribuido a un menor tiempo de exposición al proceso de secado.

En la Figura 6.8b, se observa una disminución del contenido de compuestos bioactivos presentes en todas las muestras, este efecto es atribuido por el proceso de cocción al cual fueron sometidas y a la solubilidad de algunos compuestos bioactivos presentes en las pastas. Podemos apreciar que las pastas con un tratamiento de pre-secado lograron un mayor efecto de conservación de los compuestos en comparación con las pastas sin tratamiento de presecado. Esto es posible por la existencia de una disminución de posibles lixiviaciones y descomposición térmica de los compuestos fenólicos por efecto de los tratamientos de secado.

**6.8 Efecto de las formulaciones y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre la Calidad culinaria de la pasta cocida**

Se puede definir la calidad culinaria de las pastas de diversas formas, de acuerdo a los hábitos culinarios de los consumidores; debido a esto, las pruebas para evaluarla varían de un país a otro e incluso dentro de un mismo país (Kill & Turnbull, 2004)

**TABLA 6.3** Calidad culinaria de las pastas.

Tratamiento	Tiempo de cocción (min)	% de sedimentación	% Grado de hinchamiento	Ganancia de peso (g /40 g)
Testigo	15.00±0.00 <sup>ab</sup>	21.87±0.37 <sup>abcd</sup>	18.50±4.41 <sup>a</sup>	67.30±2.97 <sup>ab</sup>
50 °C	3%	15.95±2.33 <sup>ab</sup>	15.25±0.20 <sup>cd</sup>	74.25±5.02 <sup>a</sup>
	6%	12.00±0.00 <sup>b</sup>	9.75±0.05 <sup>d</sup>	68.30±2.40 <sup>ab</sup>
Testigo	13.70±1.83 <sup>ab</sup>	28.00±0.24 <sup>abc</sup>	18.53±2.07 <sup>a</sup>	65.50±1.48 <sup>ab</sup>
60 °C	3%	11.77±1.02 <sup>b</sup>	26.00±0.11 <sup>abc</sup>	61.50±5.51 <sup>ab</sup>
	6%	11.15±0.21 <sup>b</sup>	43.25±0.39 <sup>d</sup>	58.90±3.11 <sup>ab</sup>
Testigo	18.30±1.55 <sup>a</sup>	20.05±0.10 <sup>abcd</sup>	12.95±1.88 <sup>a</sup>	65.30±5.94 <sup>ab</sup>
20 min 50°C	3%	14.05±0.07 <sup>ab</sup>	16.25±0.47 <sup>bcd</sup>	57.45±1.34 <sup>ab</sup>
	6%	11.00±0.00 <sup>b</sup>	44.25±0.49 <sup>bcd</sup>	56.80±1.83 <sup>b</sup>
Testigo	15.00±1.41 <sup>ab</sup>	28.25±0.78 <sup>abc</sup>	13.33±9.43 <sup>a</sup>	63.30±5.65 <sup>ab</sup>
20 min 60°C	3%	14.00±1.41 <sup>ab</sup>	22.00±0.24 <sup>abcd</sup>	58.55±0.21 <sup>ab</sup>
	6%	13.00±0.00 <sup>ab</sup>	18.25±0.23 <sup>abcd</sup>	56.75±3.32 <sup>b</sup>
Testigo	15.50±2.12 <sup>ab</sup>	31.75±0.23 <sup>a</sup>	12.50±0.00 <sup>a</sup>	62.25±2.89 <sup>ab</sup>
40 min 50°C	3%	14.65±0.49 <sup>ab</sup>	20.00±0.00 <sup>abcd</sup>	63.60±3.81 <sup>ab</sup>
	6%	12.61±2.26 <sup>ab</sup>	19.00±0.11 <sup>abcd</sup>	62.20±10.60 <sup>ab</sup>
Testigo	14.26±3.87 <sup>ab</sup>	30.50±0.10 <sup>ab</sup>	14.44±11.39 <sup>a</sup>	62.50±2.82 <sup>ab</sup>
40 min 60°C	3%	12.00±1.41 <sup>b</sup>	19.50±0.52 <sup>abcd</sup>	51.75±3.60 <sup>b</sup>
	6%	14.15±1.20 <sup>ab</sup>	20.00±0.00 <sup>abcd</sup>	65.35±3.60 <sup>ab</sup>

El tiempo de cocción en una pasta es el tiempo necesario para obtener una completa gelatinización del almidón (Tudorica et al., 2002) En la tabla 6.3 se observa que el tiempo determinado para que las pastas se encontraran “al dente” fue de 11.12 a 18.30 minutos, esto dependió de la cantidad de sémola de trigo contenida en cada una de las formulaciones, estos tiempos de cocción son más altos en comparación por los reportados por Illana (2015) los cuales tenían un tiempo de cocción promedio de 11 min. Los tiempos determinados para la cocción en pastas son similares a los reportados por Acosta-Rueda (2007) para pastas adicionadas con sémola de cebada, en la cual atribuye la diferencia de tiempos de cocción a la disminución de sémola de trigo presente en las pastas, Torres et al.,(2007) reporta una disminución del tiempo de cocción en espaguetis adicionados con harina germinada de gandul al 5, 8 y 10%, siendo el nivel de mayor concentración de harina de gandul el que mostro la mayor disminución del tiempo de cocción. Los distintos tiempos de cocción se ven influenciados por la temperatura de secado y los tiempos de presecado, siendo las pastas de 60°C las que mostraron menor tiempo de cocción. El porcentaje de sedimentación y el grado de hinchamiento en las pastas no mostraron una tendencia en función del incremento de harina de moringa. Dentro de los factores que pudieron contribuir a esto se encuentran las condiciones de secado utilizadas durante el presente trabajo.

De acuerdo a Kent (1987) una pasta debe hincharse al doble de su volumen después de 10 minutos de ser hervidas, manteniendo su forma y firmeza sin ponerse pastosa ni desintegrarse. La ganancia de peso en las pastas se encontró dentro de los valores esperados al aumentar el doble su valor inicial. Es por esto que podemos mencionar que los valores de la calidad culinaria en las pastas se encuentran dentro de los rangos para una pasta de buena calidad.



### **6.9 Efecto de las formulaciones y condiciones de operación de pastas adicionadas con harina de moringa sobre el contenido de ácidos grasos presentes en pastas**

El porcentaje de ácidos grasos que comúnmente se encuentran en los alimentos es muy reducido y solo resaltan unos cuantos; por lo general están esterificados, integrando los triacilglicéridos y cuando llegan a presentarse en estado libre es porque ocurrió una hidrólisis del enlace éster (Dadui., 2006). En los últimos años, los ácidos grasos están en constante investigación, esto debido a los beneficios que aportan a la salud, no solamente de sus fuentes naturales, sino también al incluirlos en los alimentos de mayor consumo en la población a nivel mundial. Estos ayudan en el desarrollo del cerebro en niños; sus propiedades hipocolesterolemicas, contribuyen a la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, inmunológicas, diabetes, entre otros beneficios a la salud.

En las pastas adicionadas con harina de Moringa, no se presentó un efecto en la concentración de ácidos grasos por las condiciones de secado y pre-secado, sin embargo en la Tabla 14, se puede apreciar que a medida que se aumenta la concentración de harina de moringa oleífera, solo el porcentaje de área del ácido graso  $\omega$  3 incrementa proporcionalmente a medida que se aumentó la concentración de harina de Moringa, siendo las formulaciones de 6 % las que mostraron un mayor contenido de  $\omega$  3.

Esto concuerda con lo reportado por Sánchez-Machado (2010), el cual reporta que el  $\omega$  3 es el ácido graso mayoritario presente en las hojas secas de Moringa con 56.86% del porcentaje de área de todos los ácidos grasos.

## RESULTADOS

Tratamientos	Porcentajes de área de Ácidos grasos						
	C16	C16:1	C:18	C18:1 <sup>(ω)</sup> 9	C18:1 <sup>(ω)</sup> 7	C18:2 <sup>(ω)</sup> 6	C18:3 <sup>(ω)</sup> 3
50 °C							
Testigo	17.54 ±0.18 <sup>a</sup>	1.22±0.01 <sup>b</sup>	2.33±0.06 <sup>a</sup>	53.85±0.76 <sup>ab</sup>	2.57±0.16 <sup>a</sup>	21.31±0.30 <sup>a</sup>	1.18±0.05 <sup>b</sup>
3%	16.97±1.22 <sup>a</sup>	1.23±0.00 <sup>b</sup>	2.25±0.35 <sup>a</sup>	54.57±2.03 <sup>ab</sup>	2.47±0.13 <sup>ab</sup>	20.09±0.13 <sup>a</sup>	2.42±0.21 <sup>ab</sup>
6%	17.65±0.23 <sup>a</sup>	1.12±0.04 <sup>b</sup>	2.40±0.13 <sup>a</sup>	52.88±1.34 <sup>ab</sup>	2.38±0.12 <sup>ab</sup>	19.90±0.38 <sup>a</sup>	3.66±0.52 <sup>a</sup>
60 °C							
Testigo	16.73±0.22 <sup>a</sup>	1.18±0.03 <sup>b</sup>	2.27±0.05 <sup>a</sup>	55.71±0.20 <sup>ab</sup>	2.35±0.05 <sup>ab</sup>	20.52±0.04 <sup>a</sup>	1.24±0.00 <sup>b</sup>
3%	17.41±0.04 <sup>a</sup>	1.17±0.01 <sup>b</sup>	2.32±0.07 <sup>a</sup>	53.87±0.16 <sup>ab</sup>	2.31±0.05 <sup>ab</sup>	20.49±0.15 <sup>a</sup>	2.42±0.02 <sup>ab</sup>
6%	17.76±0.07 <sup>a</sup>	1.16±0.01 <sup>b</sup>	2.30±0.03 <sup>a</sup>	52.41±0.62 <sup>ab</sup>	2.29±0.01 <sup>ab</sup>	20.52±0.42 <sup>a</sup>	3.56±0.11 <sup>a</sup>
20 min							
50°C							
Testigo	16.76±0.20 <sup>a</sup>	1.18±0.03 <sup>b</sup>	2.28±0.05 <sup>a</sup>	56.73±0.09 <sup>a</sup>	2.18±0.05 <sup>b</sup>	19.70±0.14 <sup>a</sup>	1.18±0.00 <sup>b</sup>
3%	17.54±0.17 <sup>a</sup>	1.13±0.01 <sup>b</sup>	2.34±0.06 <sup>a</sup>	53.22±0.90 <sup>ab</sup>	2.22±0.01 <sup>ab</sup>	20.83±0.43 <sup>a</sup>	2.72±0.22 <sup>ab</sup>
6%	17.60±0.55 <sup>a</sup>	1.13±0.12 <sup>b</sup>	2.33±0.05 <sup>a</sup>	53.13±3.84 <sup>b</sup>	2.19±0.03 <sup>ab</sup>	19.86±3.55 <sup>a</sup>	3.76±0.98 <sup>a</sup>
20 min							
60°C							
Testigo	16.88±0.11 <sup>a</sup>	1.17±0.03 <sup>b</sup>	2.29±0.09 <sup>a</sup>	56.01±0.64 <sup>ab</sup>	2.33±0.10 <sup>ab</sup>	20.10±0.75 <sup>a</sup>	1.22±0.02 <sup>b</sup>
3%	17.46±0.03 <sup>a</sup>	1.13±0.03 <sup>b</sup>	2.29±0.03 <sup>a</sup>	53.48±0.01 <sup>ab</sup>	2.25±0.08 <sup>ab</sup>	20.73±0.03 <sup>a</sup>	2.66±0.13 <sup>ab</sup>
6%	17.46±0.09 <sup>a</sup>	1.09±0.03 <sup>b</sup>	2.51±0.25 <sup>a</sup>	52.68±0.81 <sup>ab</sup>	2.17±0.03 <sup>b</sup>	20.07±0.56 <sup>a</sup>	3.83±0.10 <sup>a</sup>
40 min							
50°C							
Testigo	17.34±0.42 <sup>a</sup>	1.80±0.25 <sup>a</sup>	2.20±0.01 <sup>a</sup>	54.66±0.61 <sup>ab</sup>	2.50±0.21 <sup>ab</sup>	20.26±0.23 <sup>a</sup>	1.25±0.05 <sup>b</sup>
3%	17.39±0.03 <sup>a</sup>	1.09±0.06 <sup>b</sup>	2.50±0.25 <sup>a</sup>	51.45±4.34 <sup>ab</sup>	2.29±0.04 <sup>ab</sup>	21.42±2.41 <sup>a</sup>	3.85±1.72 <sup>a</sup>
6%	17.39±0.15 <sup>a</sup>	1.11±0.06 <sup>b</sup>	2.31±0.03 <sup>a</sup>	54.55±0.85 <sup>ab</sup>	2.16±0.06 <sup>b</sup>	19.51±1.30 <sup>a</sup>	3.01±0.57 <sup>ab</sup>
40 min							
60°C							
Testigo	16.91±0.05 <sup>a</sup>	1.16±0.01 <sup>b</sup>	2.28±0.02 <sup>a</sup>	55.87±0.10 <sup>ab</sup>	2.20±0.02 <sup>b</sup>	20.36±0.09 <sup>a</sup>	1.23±0.03 <sup>b</sup>
3%	17.49±0.02 <sup>a</sup>	1.14±0.04 <sup>b</sup>	2.32±0.00 <sup>a</sup>	53.90±0.38 <sup>ab</sup>	2.28±0.06 <sup>ab</sup>	20.29±0.37 <sup>a</sup>	2.59±0.06 <sup>ab</sup>
6%	18.09±0.37 <sup>a</sup>	1.11±0.01 <sup>b</sup>	2.35±0.02 <sup>a</sup>	51.18±0.14 <sup>ab</sup>	2.22±0.19 <sup>ab</sup>	21.05±0.15 <sup>a</sup>	4.00±0.08 <sup>a</sup>

**TABLA 6.4.** Porcentajes de área de ácidos grasos en pastas secas adicionadas con harina de Moringa oleifera

## 7 CONCLUSIONES

- El tiempo de pre-secado, temperatura de secado y concentración de harina de moringa se relacionaron positivamente con los valores de humedad, lípidos, proteínas, cenizas y actividad de agua.
- El contenido de fenoles totales y la actividad antirradical (DPPH y ABTS) en pastas crudas fueron afectados significativamente por las variables estudiadas. En pastas cocidas, la concentración de harina de moringa y el pre-secado tuvieron un efecto significativo sobre el contenido fenólico y la actividad antirradical (DPPH y ABTS).
- La concentración de harina de moringa afectó significativamente los parámetros de color de las pastas secas.
- Las variables temperatura, concentración de harina de moringa y su interacción mostraron efecto significativo sobre los valores de calidad culinaria de las pastas.
- El aumento en la concentración de harina de moringa mostró un efecto positivo en el porcentaje de área del ácido graso  $\omega$  3.

## 8 BIBLIOGRAFIA

1. 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.
2. 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.
3. Antognelli, C. 1980. The manufacture and applications of Official Analytical Chemistry. Washintong, D.C. EEUU. 1298 pp.
4. 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.
5. Araya L. H. y Lutz R. M. 2003. Alimentos funcionales y saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30, 8-14.
6. ASERCA, 2003. Claridades agropecuarias: la cebada en la agricultura nacional.
7. 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.
8. Badui Dergal, S. 2006. Cuarta edición. Química de los alimentos. Pearson Educación, México. pág. 541-542.
9. Berteli, M.N., Marsaioli Jr, A. 2005. Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. *Journal of Food Engineering*. 68:175-183.
10. Biernacka, B., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Rózyło, R. 2016. Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *LWT- Food Science and Technology*. 77: 186-192.
11. Caceres, A., Saravia, A., Rizzo, S., Zabala, L., León, E.D. y Nave, F. 1992. Pharmacological properties of *Moringa oleifera* 2: screening fot antispasmodic, anti-inflammatory and diurect activity. *J. Ethnopharmacol*. 36:233-237
12. 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 maestria. Universidad Autonoma de Queretaro.
13. 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.
14. Chaves de Figueiredo, T., Sampaio de Assis,D., Miranda Menezes, L., Resende da Silva, G., Pereira Lanza, I., Dias Heneine, L.G., Vasconcelos Cancado, S. 2015. HPLC-UV method validation for the identification and quantification of bioactive amines in comercial eggs. *Talanta*. Article in press
15. Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P., Phivthong-ngam, L., Ratanachamngong, P., Srisawat, S. and Pongrapeeporn, K. S. 2008. The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antioatheroscherotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam Leaves. *Journal of Ethnopharmacology*. 116:439-446.

16. D'Amico, S., MÄschle, J., Jekle, M., TÖmÖskÖzki, Sandor., Langó, B. 2015. Effect of high temperatura drying on gluten-free pasta properties. *Food Sci Technol Int.* 63: 391-399
17. Debbouz, A., Pitz, W.J., Moore, W.R. and D'Appolonia, B.L. 1995. Effect of bleaching on durum wheat spaghetti quality. *Cereal Chem.* 72: 128-131
18. Dexter, I.E., Matsuo, R.R., Kruger, I.E. 1987, The effect of test weight on durum wheat quality, *Cereal Foods World.*
19. Douglass, J.S. and Matthews, R.H. 1982. Nutrient content of pasta products, *Cereal Foods World* 27: 558–561.
20. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analitical Chemistry*, 28, 350-356.
21. Elkhalfa, A.E.O., Ahmed, S.A.A y Adam, S. 2007. Nutritional evaluation of Moringa oleifera leaves and extract. *Ahfad J.* 24:113-122.
22. Escamilla, E. A. 2001. Métodos para evaluar la calidad de trigos cristalinos, (Triticum durum) semolinas y pastas alimenticias. Tesis de Licenciatura de la Universidad NaturalUniversidad Nacional Autónoma de México.
23. 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.
24. Feillet Pierre. 1984. Conocimiento actual sobre bioquímica de la calidad culinaria de las pastas. Montpellier. INRI. 551-566.
25. Feillet Pierre. 1998. Conocimiento actual sobre bioquímica de la calidad culinaria de las pastas. Montpellier. INRI. 551-566.
26. 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.
27. 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.
28. Ghasi, S. Nwobodo, E., Ofili, J.O. 2000. Hypocholesterolemic effects of crude extrac of leaf of *Moringa oleifera lam.* In high-fat die fed wistar rats. *Journal of Ethopharmacology.* 69:21-25.
29. 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.
30. Gil, A. 2010. Tratado de nutrición. Tomo II. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Ed. Médica Panamericana. Madrid.
31. 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.
32. Gómez Cota, L. 2007. Elaboración de pasta enriquecida con soya para mejorar sus propiedades proteínicas. Tesis de Licenciatura. Intituto Tecnológico de Sonora. Mexico.

33. 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.
34. 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.
35. Goñi I. And Valentin-Gamazo C. 2003. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers. Food Chemistry, 81, 511-515.
36. Goñi I. And Valentin-Gamazo C. 2003. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers. Food Chemistry, 81, 511-515.
37. 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.
38. Granito, M., Ascanio, V. 2009. Desarrollo y transferencia tecnológica de pastas funcionales extendidas con leguminosas. Archivos Latinoamericanos de Nutricion. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
39. 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
40. Guerreiro, L. 2006. Dossie técnico de massas alimenticias. REDETEC (rede de Tecnologia do Rio de Janeiro), 39p.
41. Guerreiro, L. 2006. Dossie Técnico de Massas Alimenticias. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. 39 p. Brasil.
42. Hernández N. R. 2006. Elaboración de espagueti adicionado con almidón de platano: caracterización física, química nutricional y de calidad. Tesis de maestria. CEPROBI-IPN, México.
43. Hoebler, C., Devaux, M.F., Karinthi, A., Belleville, C., & Barry, J. L. 2000. Particle size of solid food after human mastication and vitro simulation of oral breakdown. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 51(5), 353-366.
44. Hosney, R. C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España.
45. Illana, F. 2014. Elaboración de una pasta con propiedades funcionales adicionada con harina de Moringa oleífera. Tesis de Licenciatura. Universidad del Papaloapan. México.
46. 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.
47. 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.
48. 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.

49. 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
50. Jongrungruangchok, 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
51. Kent, N.L. 1987. *Tecnología de los cereales (introducción para estudiantes de ciencias de los alimentos y agricultura)*. P 73-93, 149-151.
52. Kill, R. C., Turnbull, K. 2004. *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola*. Acribia. Zaragoza, España. 1-9, 93-126.
53. Kohen, R. y Gati, I. 2000. Skin low molecular weight antioxidants and their role in aging and oxidative stress. *Toxicol.* 148(2):149-157.
54. Kruger, J., Matsuo, R., Dick, J. 1996. *Pasta and Noodle Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
55. Li, M., Zhu, K. X., Guo, X. N., Brijs, K., & Zhou, H. M. (2014). Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: Opportunities for enhanced nutritional and functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 347–357
56. 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 or rural Fulani, northeastern Nigeria. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 51(3):195-208.
57. 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.
58. Manguro, L.O.A., and Lemmen, P.2007. Phenolics of *Moringa oleifera* leave. *Natural Products Research*, 21:56-58.
59. Marchylo, B.A. and Dexter, J.E. 2004. Improving the texture of pasta. In: *Texture in Food. Solid Foods*. (eds Kilcast, D.), pp. 465-500. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK.
60. Mecier S., Des Marchais L.P., Villeneuve S., Foisy M. 2011. Effect of die material on engineering properties of dried pasta. *Procedia Food Science* 1:557-562.
61. Meena, A. K., Sachan, A., Kaur, R., Pal, B. and Singh. 2010. *Moringa oleifera*: A review. *Journal of Pharmacy Research*. 3: 840-842.
62. Mehta, K., Balaram, R., Amin, A., Bafna, P. y Gulati, O. 2003. Effect of fruits of *Moringa oleifera* on the lipid profile of normal and hypercolesterolaemic rabbit. *J. Ethnopharmacol.* 86(2): 191-195.
63. 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.
64. Morton, J. F., 1991. The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae)- a boon to arid lands *Economic Botany* 45, 3, 318-333.
65. Moyo, B., Oyedemi, S., Masika, P.J. y Muchenja, V. 2012. Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/ sunflower seed cake. *Meat Sci.* 91(4): 44-447.

66. Nadro, M., Arungbemi, R. y Dahiru, D. 2007. Evaluation of *Moringa oleifera* leaf extract on alcohol-induced hepatotoxicity. *Trop. J. Pharm. Res.* 5(1):539-544.
67. Nadro, M., Arungbemi, R. y Dahiru, D. 2007. Evaluation of *Moringa oleifera* leaf extract on alcohol-induced hepatotoxicity. *Trop. J. Pharm. Res.* 5(1): 539-544.
68. Ohm, J.B., Ross, A.S., Peterson, C.J., Ong Y.L. 2008: Relationship of high molecular weight glutenin subunits composition and molecular weight distribution of wheat flour protein with water absorption and color characteristics of noodle dough. *Cereal Chemistry.* 85:123-131.
69. Olson, M.E. y Fahey, J.W. 2001. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Rev. Mex. Biodiv.* 82(4) 1071-1082.
70. Ovando Martínez, Maribel. 2008. Pasta adicionada con harina de plátano, digestibilidad y capacidad antioxidante. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.
71. Pacheco-delahaye, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad in vitro del almidón. *Acta científica Venezolana*, 52, 278-282.
72. Pal, S.K., Mukherjee, P.K. y Saha, B. 1995. Studies on the antiulcer activity of *Moringa oleifera* leaf extract on gastric ulcer models in rats. *Phytother. Res.* 9(6): 463-465.
73. Patel, S., Thakur, A. S., Chandy, A. & Manigauha, A. 2010. *Moringa oleifera*: A review of their medicinal and economical importance to the health of a nation. *Drug Invention Today.* 2:339-342.
74. 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.
75. Peter, K. V. 1979. Drumstick, a multi-purpose vegetable. *Indian Horticulture.* 23: 17-18.
76. Peter, K. V. 1979. Drumstick, a multi-purpose vegetable. *Indian Horticulture.* 23: 17-18.
77. Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., Micard, V. 2010. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43: 634-641.
78. Petitot, M., Brossard, C., Barron, C., Larré C., Morel, M., Micard, V. 2009. Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry.* 116: 401-412.
79. 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.
80. Pomeranz, Y., Czuchajowska, Z., Shogren, M.D., Rubenthaler, G.L., Bolte, L., Jeffers, H.C., and Mattern., P.J. 1988. Hardness and functional (bread and cookie-making) properties of U.S. wheats. *Cereal Foods World.* 33:297.
81. Prior, R.L., Wu, X. y Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food. Chem.* 53(10): 4290-4302.

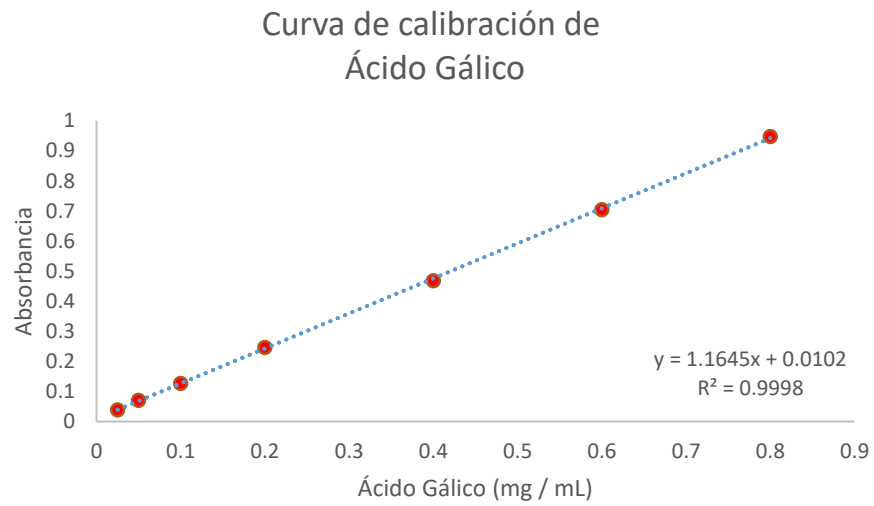


82. Rayas-Duarte P., Mock C. M. and Satterle L.D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chemistry*, 73, 381-387.
83. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26(9):1231-1237.
84. Resmini, P., and Pagani, M.A. (1983). Ultra structure studies of pasta: A review. *Food Microstructure* 2: 1–12.
85. 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.
86. Sánchez-Machado, D.I., Núñez-Gastélum, J.A., Reyes-Moreno, C. 2010. Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleifera*. *Food Analysis Methods* 3: 173-180
87. Serna, S.S.R. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D.F.
88. Shahidi, F y Nazk, M. 1995. Food phenolics. Sources, chemistry, effects, applications, Technomic Publishing. Co. Inc. Pensilvania. EE. UU. 105 p.
89. 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.
90. Shewry, P.R., Tatham, A.S., Napie, J.A. 1995. Seed storage proteins : Structures an biosynthesis. *The Plant Cell*, 7:945-956.
91. Shih, M.C., Chang, C.M., Kang, S.M. y Tsai, M.L. 2011. Effect of different parts (leaf, stem and stalk) and seasons (summer and Winter) on the chemical composition and tioxidant activity of *Moringa oleifera*. *Int. J. Mol. Sci.* 12(9): 6077-6088.
92. Siddhuraju, P. y Becker, K. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agro-climatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) .*J. Agric. Food. Chem.* 51(8) 2144-2155.
93. 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.
94. Sissons, M. 2004. Pasta. In: colin W, editos. *Encyclopedia of grain science*. Oxford: Elsevier. P 409-418.
95. Sissons, M. Pasta .in *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Ltd. 2004. P 409-418.
96. Sreelatha, S. & Padma, P. R. 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* in two stages of maturiry. *Plant Foods for Human Nutrition.* 64:303-311.
97. Sreeramulu, N. 1982. Chemical composition of some green leafy vegetables grown in Tanzania. *Journal of Plant Foods.* 4: 139-141.
98. Sreeramulu, N. 1982. Chemical composition of some green leafy vegetables grown
99. 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.
100. Tende, J.A. Ezekiel, I., Dikko, A. A.U. and Goji , A. D. T. 2011. Effetct of ethanolic leaves extract of *Moringa oleifera* on blood glucose levels of streotozocin-incide diabetics and normoglycemic wistar rats. *British Journal of Pharmacology and Toxicology.* 2: 1-4

101. Tende, L., Ezekiel, I., Dillo, A. y Goji, A. 2011. Effect of ethanolic leaves extract of *Moringa oleifera* on blood glucose levels of streptozocin-induced diabetics and normoglycemic wistar rats. *Brit. J. Pharmacol.* 2(1):1-4.
102. 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
103. 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.
104. Vázquez, L.A. 2013. Efecto de las variables del proceso de secado por aspersion sobre compuestos bioactivos de extracto de hojas de *Moringa oleifera*. Tesis de Maestria. Instituto Tecnológico de Veracruz. Mexico.
105. 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.
106. Verma, S. C., Banerji, R., Misra, G. & Nigam, S.K. 1976. Nutritional value of *Moringa*. *Current Science*. 45: 769-770.
107. Verma, S. C., Banerji, R., Misra, G. & Nigam, S.K. 1976. Nutritional value of *Moringa*. *Current Science*. 45: 769-770.
108. 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.
109. 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.
110. 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.
111. Zhao, S., Kwok, K. y Liang, H. 2007. Investigation on ultrasound assisted extraction of saikosaponins from *Radix Bupleuri*. *Sep. Purif. Technol.* 55(3): 307-312.
112. Zhao, Y. H., Manthey, F. A., Chang, S. K. C., Hou, H. J., & Yuan, S. H. 2005. Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *Journal of Food Science*, 70, S371-S3.

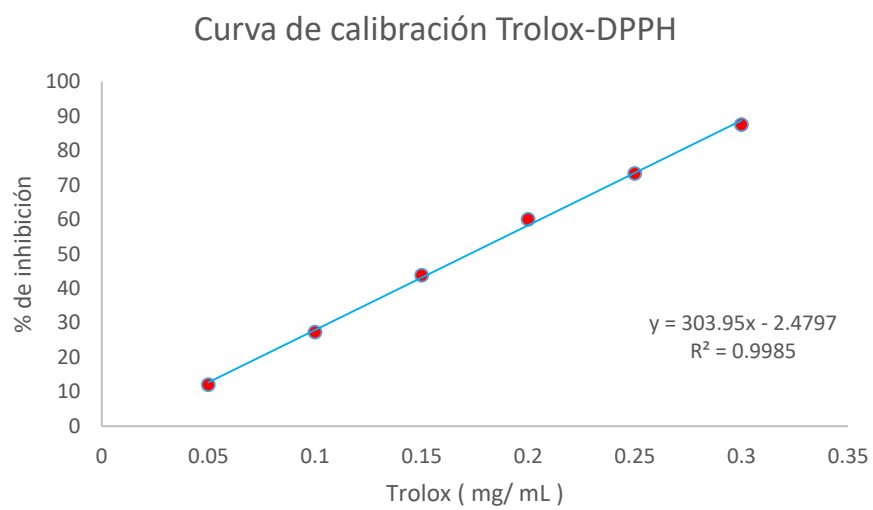
## 9 ANEXOS

### ANEXO A



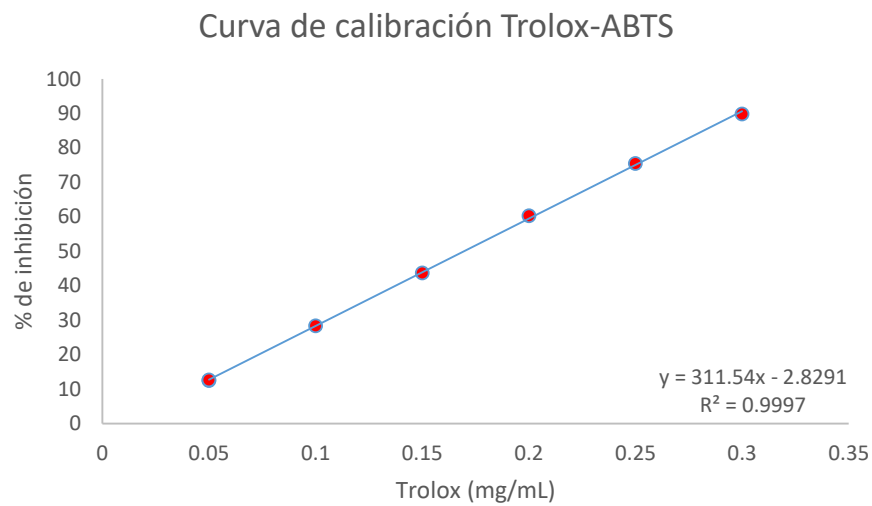
**FIGURA 9.1.** Curva de calibración de ácido gálico

## ANEXO B



**FIGURA9.2.** Curva de calibración Trolox-DPPH

## ANEXO C

**FIGURA 9.3.** Curva de calibración Trolox-ABTS