



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**DESARROLLO DE UNA PASTA PARA SOPA TIPO
“TALLARIN” A BASE DE HARINA DE AJONJOLÍ (*Sesamum
indicum* L.) CON ALTA CALIDAD NUTRIMENTAL.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

DIANA ISABEL VIZUET LÓPEZ

ASESOR: M. EN C. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESORA: I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

*Un hombre sabio vive
actuando y no pensando en
actuar.*

Carlos Castaneda

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme oportunidades de superación personal que satisficieron mis necesidades profesionales, y por ello siempre estaré orgullosa de pertenecer a “La Máxima Casa de Estudios”.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser mi segunda casa durante mi carrera y por haberme brindado la oportunidad de ser una más de sus profesionistas, además de ser la única en impartir la Licenciatura de Ingeniería en Alimentos.

A M. en C. Enrique Martínez Manrique y a I. A. Verónica Jiménez Vera por el valioso apoyo que me dieron para la culminación de este trabajo, por su orientación, consejos y permitirme estar en constante aprendizaje.

A mis sinodales I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez, M. en C. Enrique Martínez Manrique, I. A. María Guadalupe Morales Cabral, I. A. Frida Rosalía Cornejo García y Dr. Abraham Méndez Albores, por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo, por sus aportaciones hechas durante la realización del trabajo y por su amistad brindada a lo largo de toda la licenciatura.

Mis agradecimientos a cada uno de mis maestros por sus valiosas enseñanzas, conocimientos impartidos y por sembrar en mí, el espíritu de la preparación y superación personal.

A mis grandes amigos Mariela López García, Patricia Galván Zarazúa, Mariana Jiménez Galicia y David Jafet Gallardo Martínez por sus amistad incondicional, por los consejos y por su ayuda brindada en las buenas y en las malas.

Y por último, pero no el menos importante, a Dios por darme vida y permitirme conservarla, además por los desafíos de cada día.

DEDICATORIAS

A Virginia López Gamero por ser una mujer ejemplar con múltiples profesiones u oficios: enfermera, psicóloga, economista, maestra, luchadora, comediente, ama de casa, cocinera, costurera, entre otras; además de ser esposa y la mamá más mala del mundo, por lo cual le dedico cada uno de mis logros en agradecimiento a toda su paciencia, apoyo y un gran amor incondicional.

A mi padre José Isabel Vizuet Vizuet por todo su apoyo, cariño y consejos que me ha brindado durante todo este tiempo, así como su dedicación y paciencia que me ha ofrecido en el ámbito estudiantil, ayudándome siempre en la realización de mis tareas y que ha inculcado en mí el ejemplo de responsabilidad y compromiso, con el único fin de verme salir adelante.

A mi cómplice de travesuras, regaños, peleas, risas y llantos; por tu confianza y apoyo; por reflejar en ti el gran compromiso que tengo de ser no solo tú hermana mayor sino ser tú ejemplo a seguir. Por esto y mucho más, gracias Héctor por ser quien eres.

A mis padrinos Felipe y Lupita por estar siempre pendiente de mí, por sus atenciones y sabios consejos y porque sé que siempre puedo contar con ustedes.

A mis otros hermanos: Hilda, Carlos, Lidia y Deme por todo el apoyo que he recibido de ustedes y demostrarme que cualquier obstáculo es fácil de vencer y sin olvidarme de mi hermanita Laura que la quiero mucho... ¡Gracias chiquillos! Al tío Beto y la tía Gabina, gracias por el apoyo brindado a la familia y por verme como una hija más.

A mi tío Polo por su gran cariño y por ser un ejemplo a seguir; a Lupita por interesarse en lo que hago y a mis primos Abraham y Saúl por demostrar ser buenos niños que siempre luchan por sus sueños... porque él quien gana es el ganador!!!

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. ANTECEDENTES.....	3
1.1 AJONJOLÍ.....	3
1.1.1 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA.....	4
1.1.2 CLIMA.....	5
1.1.3 IMPORTANCIA MUNDIAL.....	5
1.1.4 IMPORTANCIA NACIONAL.....	6
1.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRIMENTAL.....	7
1.1.6 USOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ Y DE SUS SUBPRODUCTOS.....	9
1.2 TRIGO.....	12
1.2.1 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA.....	12
1.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRIMENTAL.....	13
1.2.3 CLASIFICACIÓN Y USOS.....	15
1.3 PASTA.....	18
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE PASTAS.....	19
1.3.2 PRODUCCIÓN Y CONSUMO.....	20
1.3.3 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTAS PENSADO/TROQUELADO.....	22
1.3.4 CALIDAD DE LA PASTA.....	23
1.3.4.1 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LA PASTA.....	24
1.3.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS HARINAS.....	25
2. OBJETIVOS.....	28
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	28
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	28
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	29
3.1 CUADRO METODOLÓGICO.....	29
3.2 MATERIA PRIMA.....	30
3.3 FORMULACIONES.....	30
3.4 ELABORACIÓN DE LA PASTA.....	30
3.5 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (AQP).....	32
3.6 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS A LAS MEZCLAS DE HARINAS.....	34
3.7 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LA PASTA.....	35
3.8 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER).....	37
3.9 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS.....	38
3.10 DETERMINACIÓN DE TRIPTÓFANO.....	38
3.11 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	39
3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MATERIA PRIMA	40
4.2 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS A LAS MEZCLAS DE HARINAS	41
4.3 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LAS PASTAS ELABORADAS CON LAS DIFERENTES FORMULACIONES	43
4.4 CALIDAD NUTRIMENTAL DE LA PASTA ELABORADA CON LA MEJOR FORMULACIÓN	45
4.5 EVALUACIÓN SENSORIAL	47
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES	50
7. REFERENCIAS	51
8. ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PRODUCCIÓN DE AJONJOLÍ POR CONTINENTE.....	5
TABLA 2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE AJONJOLÍ	6
TABLA 3. PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE AJONJOLÍ	6
TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ.....	7
TABLA 5. COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ.....	8
TABLA 6. COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ	8
TABLA 7. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE LA HARINA DESGRASADA DE AJONJOLÍ	10
TABLA 8. COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE LA HARINA DESGRASADA DE AJONJOLÍ	11
TABLA 9. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO.	14
TABLA 10. COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DEL TRIGO.....	15
TABLA 11. GRADO DE RIQUEZA EN ENERGÍA, MACRONUTRIENTES, MINERALES Y VITAMINAS DE LAS HARINAS DE TRIGO SEGÚN SU GRADO DE EXTRACCIÓN.....	17
TABLA 12. VOLUMEN Y VALOR DE PRODUCCIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS POR AÑO	20
TABLA 13. VOLUMEN EN TONELADAS DE PRODUCCIÓN POR MES DE PASTAS ALIMENTICIAS	21
TABLA 14. FORMULACIONES PROPUESTAS PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA	30
TABLA 15. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DE LA PASTA	40
TABLA 16. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES PARA LAS HARINAS	41
TABLA 17. RESULTADOS OBTENIDOS DEL FARINOGRAMA A LAS MEZCLAS DE HARINAS	42
TABLA 18. PRUEBA DE CALIDAD CULINARIA A LAS PASTAS	44
TABLA 19. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS PASTAS CONTROL Y LA FORMULACIÓN SELECCIONADA	45
TABLA 20. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES COMPARATIVO DE LAS PASTAS	46
TABLA 21. PER (RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA) COMPARATIVO DE LAS PASTAS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PLANTA DE AJONJOLÍ CON DIFERENTE COLORACIÓN DE FLORES	3
FIGURA 2. MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE AJONJOLÍ	4
FIGURA 3. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE AJONJOLÍ DESGRASADA	11
FIGURA 4. MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE TRIGO	13
FIGURA 5. CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE UN GRANO DE TRIGO	13
FIGURA 6. TIPOS DE TRIGO Y LOS PRODUCTOS OBTENIDOS CON ELLOS.....	16
FIGURA 7. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA TIPO TALLARÍN.....	23
FIGURA 8. MODELO DE FARINOGRAMA.	26
FIGURA 9. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTA PARA SOPA TIPO TALLARÍN.	31
FIGURA 10. FARINÓGRAFO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS EN HARINAS	34
FIGURA 11. EVALUACIÓN SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO	48

RESUMEN

La semilla de ajonjolí representa un gran potencial en la industria de alimentos por su alta calidad nutrimental, sin embargo no se ha aprovechado para elaborar productos a nivel industrial debido a que no se usa como un ingrediente principal en los alimentos sino sólo como decorado. Por otra parte, las pastas son un alimento de consumo masivo y de alta aceptabilidad en México, entre otras cosas, por su bajo costo, fácil preparación, almacenamiento y larga vida de anaquel. Este producto es elaborado comúnmente con sémola de trigo, pero su calidad nutrimental es baja, debido al valor biológico de su proteína, además tiene un alto poder calórico por su contenido de carbohidratos. Es por eso que, en el presente trabajo se planteó el desarrollo de una formulación para la elaboración de una pasta para sopa tipo tallarín que tuviera como uno de sus ingredientes principales harina de ajonjolí, conservando su calidad culinaria y mejorando su calidad nutrimental. Para lograrlo, se probaron formulaciones con diferentes contenidos de harina de ajonjolí (80%, 70%, 60% y 50%), sémola de trigo y gluten vital. Para evaluar la calidad de las mezclas de harinas se uso un farinógrafo, también se elaboraron pastas con las diferentes formulaciones para evaluar su calidad culinaria y seleccionar la mejor. A la pasta elaborada con la mejor formulación se le evaluó su calidad nutrimental mediante un análisis químico proximal y la determinación del perfil de aminoácidos y el índice de eficiencia proteica. Además se evaluó su aceptación por el consumidor mediante una prueba de nivel de agrado. Los resultados obtenidos en las pruebas farinográficas y de calidad culinaria, indicaron que la mejor formulación fue la que contenía 60% harina de ajonjolí – 15% de gluten vital – 15% de sémola de trigo y 10% harina de amaranto. También se encontró que la pasta seleccionada como la mejor, sí tuvo mayor calidad nutrimental que la pasta elaborada sólo con sémola de trigo, además, sí fue aceptada sensorialmente por el consumidor.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los granos de consumo no tradicional en nuestro país, se encuentra el ajonjolí el cual en los últimos años ha aumentado su uso en la industria de alimentos (SIAP y SAGARPA, 2011). Se usa en la preparación de pan, galletas y confitería pero no como uno de los ingredientes principales, sino como un decorado. El ajonjolí tiene buena calidad nutrimental; por su alto porcentaje de proteína de alta calidad por contener aminoácidos esenciales como metionina y triptófano, además de fibra, minerales y antioxidantes naturales (sesamina y sesamolina) (Financiera Rural, 2010; Estrada *et al.*, 2000). La torta que queda después de la extracción del aceite, tiene un alto contenido de proteínas (40-50%) y la mayoría de los aminoácidos esenciales (Financiera Rural, 2010; Bustos *et al.*, 2007). Es por eso que la harina podría utilizarse para complementar productos de panificación, pues aunque carece de gluten, en combinación con el trigo, pudiera utilizarse en la elaboración de estos productos con mayores ventajas nutrimentales. Por otra parte, las pastas son parte importante en la dieta del mexicano de diferentes clases sociales, principalmente la población de bajos recursos y sobre todo del medio urbano (Kill y Turnbull, 2004). Además, son consumidas generalmente por todos los miembros de la familia y son muy aceptadas a nivel nacional por su bajo costo, fácil preparación y larga vida de anaquel. Las pastas alimenticias se obtienen a partir de sémola y semolina de harinas de trigo, a las que se puede incorporar huevo y otros aditivos, pero también es posible elaborar pastas sustituyendo parte de la sémola de trigo por otras harinas tales como la harina de amaranto para mejorar sustancialmente su calidad nutrimental (Cabrera, 2007; NMX-F-023-S-1980) y otra opción podría ser la harina desgrasada de ajonjolí. Por eso, se ha considerado elaborar una pasta para sopa a base de ajonjolí con características de calidad culinaria tan aceptables como una pasta tradicional de trigo, pero con mayor aporte nutrimental y que pueda contribuir de manera importante a elevar el nivel de nutrición de los consumidores.

Para llevar a cabo este trabajo, se evaluaron diferentes formulaciones con un mínimo de 50% de harina de ajonjolí, complementadas con sémola de trigo; se evaluó la calidad química de las harinas usadas como materias primas, así como a las mezclas mediante pruebas reológicas, también se elaboraron pastas con las diferentes formulaciones propuestas para determinar su calidad culinaria y seleccionar la mejor. A la pasta seleccionada como la mejor se le realizó un análisis químico proximal (AQP), su perfil de aminoácidos y la relación de eficiencia proteica (PER) para determinar si su calidad nutrimental es mejor que la de una pasta elaborada solamente con sémola de trigo, además se evaluó si esta pasta es aceptada por el consumidor con una evaluación sensorial de nivel de agrado.

1. ANTECEDENTES.

1.1 AJONJOLÍ

Se conoce como sésamo o ajonjolí a una pequeña semilla oleaginosa cuya procedencia se ubica en África y la India. En tiempos remotos se utilizaba para espesar los alimentos y dar un sabor especial a las comidas. Parece ser que la conocieron los habitantes que residían a orillas de los ríos Tigris y Éufrates y llegó a América de la mano de los esclavos africanos (Falasca *et al.*, 2010).

Las semillas de sésamo surgen de una planta herbácea (*Sesamum indicum*) de la familia de las Pedaliáceas. La planta desarrolla anualmente sus hojas que pueden ser opuestas, oblongas o lanceoladas, posee flores en forma de campana que van del blanco al rosa y su fruto cuenta con cuatro cápsulas provista de garfios, con la semilla en forma de cuña rodeada por el endospermo. El ajonjolí se cultiva en el trópico y subtropical, en regiones que van desde el nivel del mar hasta los 500 metros sobre el nivel del mar. Es una planta resistente a la sequía y se puede sembrar en zonas áridas y semiáridas. Las plantas del ajonjolí se clasifican y se distinguen sus variedades, por ser algunas ramificadas o no ramificadas, ser de porte menor de un metro o entre uno y uno y medio metro de altura; por su ciclo de vida corto o precoz (menos de 90 días), de tipo intermedio (entre 90 y 110 días) y tardías (más de 110 días). También se diferencian por la cantidad de cápsulas en las axilas de las hojas (producen una o más de una) y por el contenido de antocianinas (Figura 1) (Falasca *et al.*, 2010; Loarca, 2005).



Figura 1. Planta de ajonjolí con diferente coloración de flores.

Fuente: Loarca, 2005

Las semillas contienen aceite y son brillantes, de color marrón claro. Tienen un aroma característico y se emplean mucho en los países del sur de Europa y Asia. Trituradas, las semillas de sésamo son la base de una popular golosina que los países árabes llaman halva, y de una crema llamada tahina, utilizada para dar sabor a ciertos platillos y también

como adobo. El aceite extraído de la semilla también tiene aplicaciones en cocina y es un ingrediente en la producción de margarina (Falasca *et al.*, 2010; Root, 1983).

1.1.1 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA

El ajonjolí es una planta rústica, de clima cálido, de días cortos y de rápido crecimiento. Sus principales características morfológicas se presentan en la Figura 2 y se describen a continuación (Sánchez, 1992).

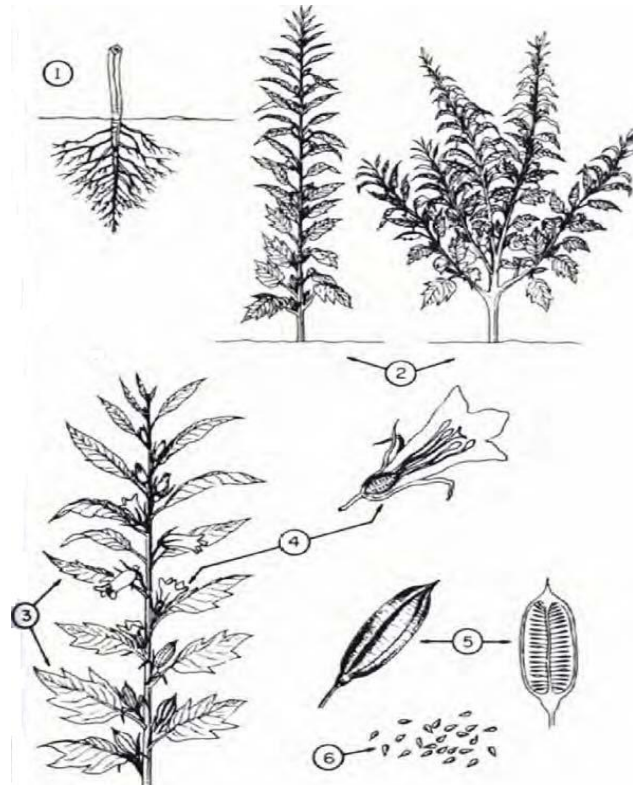


Figura 2. Morfología de la planta de ajonjolí.

Fuente: Sánchez, 1992.

1. **Raíz:** El sistema radical es bien desarrollado y fibroso. Está formado por una raíz principal pivotante, muy ramificada pero generalmente superficial.
2. **Tallo:** Según la variedad, puede ser simple o ramificado, liso o pubescente con glándulas que secretan una sustancia viscosa. Es cuadrangular de consistencia fibrosa y puede alcanzar una altura de 1 a 2 m.
3. **Hojas:** Son opuestas y alternas. Las hojas inferiores, comúnmente, son de forma acorazada y partidas; las superiores, lanceoladas y enteras. Están cubiertas por pelos.

4. **Flores:** Son blancas, en forma de campana, de 2 a 4 cm de largo. Se forman en las axilas de las hojas, en número de una a tres, según la variedad. En un gran porcentaje se autopolinizan.
5. **Frutos:** Son cápsulas dehiscentes en la mayoría de las tres variedades. Pueden ser biloculares, triloculares o tetraloculares, según la variedad.
6. **Semilla:** Son pequeñas, de 2 a 4 mm de largo de forma achatada y de color variable: blanco, crema-rojizo, pardo o negro.

1.1.2 CLIMA

El ajonjolí es una planta de clima cálido. Requiere temperaturas altas y uniformes, entre 27 y 30°C. Temperaturas inferiores a 18°C durante la floración, pueden causar esterilidad del polen o caída prematura de las flores. Temperaturas demasiado altas 40°C y más, en la época de floración, afectan la fertilización y el número de cápsulas (Sánchez, 1992).

1.1.3 IMPORTANCIA MUNDIAL

Dentro del contexto del mercado internacional (Tabla 1), se destaca la alta concentración de la producción en el continente Asiático con el 64% de la producción mundial. Sin embargo, esta región tiene el mayor volumen de consumo, inclusive superior a la producción, déficit que lo cubre con importaciones en volúmenes que representan alrededor del 70% del total del comercio mundial. Por otra parte África se constituye en el continente de mayor gravitación en las exportaciones con cerca del 50% del total de las exportaciones mundiales (Duarte, 2008).

Tabla 1. Producción de ajonjolí por continente (Toneladas)

CONTINENTE	PRODUCCIÓN	IMPORTACIÓN	EXPORTACIÓN	CONSUMO
Asia	2,191,700	679,000	342,000	2,528,700
África	1,055,000	35,300	422,000	668,300
América	160,400	92,000	54,000	198,400
Europa	1,300	131,300	37,000	95,600
Total	3,408,400	937,600	855,000	3,491,000

Fuente: Duarte, 2008

Entre los principales países productores se encuentran China, India, Myanmar y Sudán (Tabla 2), que en su conjunto representa cerca del 75% de la producción mundial.

Tabla 2. Producción mundial de ajonjolí (Toneladas)

PAÍS	PRODUCCIÓN	PAÍS	PRODUCCIÓN
China	665,500	Bangladesh	50,000
India	628,000	Paraguay	50,000
Myanmar	580,000	Tanzania	48,000
Sudán	200,000	Egipto	37,000
Uganda	166,000	Pakistán	29,500
Etiopía	159,881	Guatemala	23,000
Nigeria	100,000	México	22,404

Fuente: Duarte, 2008

1.1.4 IMPORTANCIA NACIONAL

Las superficies de ajonjolí que se siembran en la República Mexicana son muy variables; sin embargo, puede considerarse en términos muy generales que los estados y sus superficies son los siguientes: Michoacán 50,000 hectáreas, Oaxaca 47,000 hectáreas, Guerrero 40,000, Sinaloa 30,000, Veracruz 25,000 y Sonora 10,000 hectáreas. Para el año de 1977, en datos estimados por la Dirección General de Economía Agrícola, para el ajonjolí asignan una superficie de 196,811 hectáreas, un rendimiento de 439 kg por hectárea y un precio medio rural por tonelada de \$7,595 (Robles, 1990). La producción y rendimiento del ajonjolí actual se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Producción y rendimiento del ajonjolí (30 de abril de 2011)

Estado	Superficie (ha)		Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
	sembrada	cosechada	Obtenida	Obtenido
CHIAPAS	8,963	5,292	2,771	0.524
OAXACA	250	250	185	0.742
SINALOA	50	50	20	0.408
VERACRUZ	40	40	20	0.500
TOTAL	9,303	5,632	2,996	0.532

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2011

1.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRIMENTAL.

La composición química de la semilla de ajonjolí es diferente de acuerdo con las variedades y la región ecológica en donde se obtiene dicha semilla; sin embargo, en términos generales y de acuerdo con análisis químicos realizados en diferentes localidades, se tiene un promedio el cual se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Composición química proximal de la semilla de ajonjolí

COMPONENTE	%
Humedad	5.20
Lípidos	49.80
Proteína	19.15 ^a
Ceniza total	5.67
Fibra cruda	4.12
Carbohidratos	16.06

^a Proteína= Nx6.25
Fuente: Robles, 1990

Las semillas de sésamo contienen una amplia variedad de principios nutritivos de alto valor biológico. Tienen un 52% de lípidos, de los cuales el 80% son ácidos grasos insaturados. Los principales ácidos grasos de la semilla de ajonjolí (Tabla 5) son el oleico (omega-9) y el linoleico (omega-6). De acuerdo con algunos reportes se menciona más o menos 45% de oleico y 40% de linoleico (Robles, 1990), lo cual les confiere una gran eficacia en la regulación del nivel de colesterol en sangre; específicamente el ácido graso omega-9 reduce problemas cardiovasculares, así mismo ayuda a la prevención del cáncer de mama (Badui, 2006), mientras que el omega-6 es necesario para la formación de las células del organismo y para producir sustancias semejantes a las hormonas llamadas eicosanoides, que ayudan a la prevención de la inflamación y a controlar el flujo sanguíneo (Ang, 1996). Entre estos lípidos se encuentra también la lecitina, grasa fosforada que desempeña una importante función en el organismo, es componente esencial del tejido nervioso, se encuentra en la sangre, el semen, la bilis e interviene en la función de las glándulas sexuales. La lecitina es un poderoso emulsionante que facilita la disolución de las grasas en medio acuoso, previniendo el agotamiento nervioso y cerebral. En la sangre mantiene disuelto el colesterol, evitando así su depósito en las paredes arteriales (arteriosclerosis). El sésamo es, junto a la soya, el vegetal más rico en lecitina (Mataix y Carazo, 2002).

**Tabla 5. Composición de ácidos grasos de la semilla de ajonjolí.
(100g de porción comestible)**

Ác. graso mono-insaturado	18.76 g	Ác. palmítico	12 %	Ác. linoleico	35 %
Ác. graso poli-insaturado	21.77 g	Ác. esteárico	6.3 %	Ác. linolénico	1.0%
Ác. graso saturado	6.96 g	Ác. oleico	50%		

Fuente: INCAP, 1996

El sésamo tiene un 20% de proteínas, de alto valor biológico, formadas por 15 aminoácidos distintos con una elevada proporción de metionina (uno de los 8 aminoácidos esenciales). El exceso de metionina se convierte en colina (un nutriente común en la lista de deficiencias). La colina fortalece la capacidad para controlar el colesterol y ayuda en el proceso mediante el cual el organismo produce energía en lugar de grasa. El segundo aminoácido es el triptófano, precursor de la niacina; por lo tanto, resulta responsable de tener en buenas condiciones el sistema nervioso (Mataix y Carazo, 2002).

**Tabla 6. Composición de aminoácidos de la semilla de ajonjolí
(g/100 g de proteína)**

Alanina	4.609	Ac. Glutámico	19.674	Prolina	4.029
Arginina	13.083	Histidina	2.595	Serina	4.808
Ac. Aspártico	8.187	Isoleucina	3.793	Tirosina	3.693
Cisteína	1.782	Leucina	6.757	Treonina	3.660
Fenilalanina	4.676	Lisina	2.827	Triptófano	1.927
Glicina	6.052	Metionina	2.914	Valina	4.924

Fuente: INCAP, 1996.

A nivel de vitaminas, el sésamo posee dos del complejo B (B1 o tiamina y B2 o riboflavina), en cantidad mucho más elevada que cualquier otra semilla oleaginosa. También aporta buena cantidad de vitamina E (tocoferol), que es antioxidante y responsable de los siguientes procesos orgánicos: retardar el envejecimiento, reducir la tasa de colesterol, eliminar los metales tóxicos, mantener el tono muscular y nervioso, la fertilidad, la virilidad y el índice de coagulación. Además el sésamo posee vitaminas B3, B5, B6, K, ácido fólico, biotina, inositol y colina (Mataix y Carazo, 2002; Palmetti 2009).

En minerales es donde el sésamo se destaca, sobre todo por su alto contenido de calcio biodisponible, cuyo tenor es superior a cualquier alimento natural, a excepción de algún tipo de queso duro (ciertas variedades superan los 1100mg, contra los 120mg de la leche). Pero la relevancia del sésamo respecto a los lácteos, es que también está bien

dotado de los minerales necesarios para que ese contenido de calcio pueda ser fácilmente asimilado por el organismo; nos referimos al magnesio, el fósforo, el silicio, el zinc, el cobre y el boro. Además el sésamo posee la mayoría de los demás nutrientes sinérgicos al calcio: ácidos grasos esenciales, vitaminas y aminoácidos. También posee cantidades importantes de potasio, hierro, selenio, yodo y cromo (Mataix y Carazo, 2002; Palmetti, 2009).

Otros componentes interesantes del sésamo son sus antioxidantes, pertenecientes a la familia de los lignanos. Entre ellos: sesamin, sesamolin, sesamol, sesaminol, sesamolínol y pinoresinol. Estos compuestos fenólicos aportan estabilidad a los ácidos grasos presentes en la semilla, razón por la cual el aceite de sésamo, aún siendo poliinsaturado, es muy utilizado en la cocina oriental. Pero más allá de esto, los antioxidantes del sésamo han demostrado producir los siguientes efectos: retardan el envejecimiento celular, prolongando la vida útil de las células; actúan contra hongos y bacterias; inhiben el desarrollo de células cancerígenas; poseen acción antiparasitaria; eliminan radicales libres, interrumpiendo procesos de oxidación celular; se potencian con la vitamina E (α -tocoferol) presente en la semilla, mejorando su absorción en el organismo y, en consecuencia, su acción antioxidante (Mataix y Carazo, 2002; Palmetti, 2009).

Completa la riquísima composición del sésamo, su excelente calidad de fibra. Además de la fibra insoluble, están los mucílagos presentes en la semilla, los cuales le confieren una suave acción laxante y un importante efecto protector de la flora intestinal (Palmetti, 2009).

Es por ello que, resulta de interés el realizar alimentos cuya elaboración incluya como un ingrediente principal el ajonjolí, ya que, debido a su considerable aporte nutrimental, fácilmente podría ser el complemento para alimentos de consumo cotidiano, como lo son las pastas para sopa, que son consumidas por toda la familia en nuestro país.

1.1.6 USOS DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ Y DE SUS SUBPRODUCTOS

Las semillas del ajonjolí enteras pueden comerse crudas o tostadas como comida ligera, pueden también machacarse, cribarse y molerse hasta obtener una pasta oleosa. En México, la semilla tiene usos como decoración sobre algunos platillos, productos panificables y galletas (Barreiro, 1991).

Mundialmente, el mayor uso del ajonjolí se dirige a la producción del aceite, éste es muy apreciable en México, debido a que tiene un sabor agradable, y además es de los aceites más fácilmente digeribles en la alimentación humana. Se utiliza en la elaboración de margarinas y en ingredientes para la industria farmacéutica; por otra parte, también se usa en la fabricación de jabones, cosméticos y en la industria de pintura por ser de buena estabilidad (Robles, 1990).

Después de la extracción del aceite queda la pasta residual, la que es más usada para la alimentación del ganado, aves de corral y otros animales, porque la digestibilidad y aceptabilidad de algunos productos derivados de la torta de sésamo se ven limitados por el hecho de que se retiene una elevada proporción de las cáscaras lo que puede provocar un regusto amargo (COVENIN, 1979).

Pero el proceso de desgrasado de la semilla se puede hacer de tal manera que se obtenga una harina de mejor calidad, por ejemplo en la India se utiliza un proceso de descascarado en húmedo en el cual las semillas se sumergen en lejía caliente, una solución de NaOH al 0.6% a 96°C, durante un minuto antes de someterse a la extracción por disolvente y este proceso eleva la calidad de harina de sésamo desgrasada (COVENIN, 1979). En México, la empresa DIPASA, procesadora de ajonjolí, tiene un proceso similar para extraer el aceite de la semilla y obtener harina con buenas características nutrimentales y de sabor; pues la pasta residual después de la extracción del aceite contiene alrededor de 45 a 50% de proteína; esto permite que la harina se pueda usar en la elaboración de alimentos para consumo humano (Tablas 7 y 8) (Robles, 1990; Dipasa, 2011).

Tabla 7. Composición química proximal de la harina desgrasada de ajonjolí.

COMPONENTE	%
Humedad	4.80
Lípidos	7.50
Proteína	43.10 ^a
Ceniza total	8.10
Fibra cruda	6.75
Carbohidratos	29.25

^aProteína= Nx6.25

Fuente: COVENIN, 1979.

Tabla 8. Composición de aminoácidos de la harina desgrasada de ajonjolí (g/100 g de proteína)

Fenilalanina	5.227	Treonina	3.432	Arginina	13.119
Histidina	3.005	Triptófano	ND	Cisteína	ND
Isoleucina	4.558	Valina	5.223	Glicina	6.332
Leucina	7.941	Ac. Aspártico	7.356	Prolina	ND
Lisina	3.085	Ac. Glutámico	21.355	Serina	3.797
Metionina	3.669	Alanina	6.320	Tirosina	4.996

ND: no determinado
Fuente: CIAD, 2011.

La harina de ajonjolí es el producto que se obtiene de la molienda de las semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) de las cuales se ha extraído la mayor parte de aceite por presión o disolventes (Figura 3) (COVENIN, 1979).

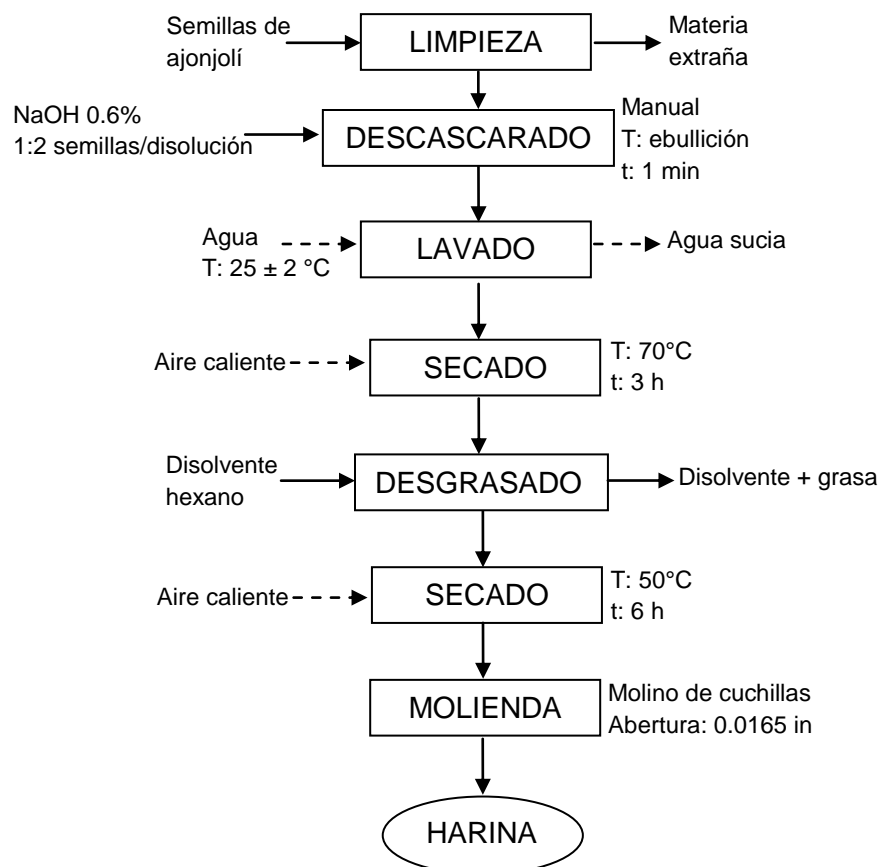


Figura 3. Diagrama de proceso para la obtención de la harina de ajonjolí desgrasada

Fuente: Porras, 2010.

La composición nutrimental de la harina desgrasada de ajonjolí aumenta con respecto a la de la semilla; como se había mencionado anteriormente, debido a que al extraer la mayor parte de lípidos, se enriquece el contenido del resto de sus componentes nutricionales, como proteína, vitaminas, minerales, entre otros. Es por esto que esta harina de ajonjolí sería un ingrediente importante para mejorar la calidad nutrimental de productos elaborados con cereales, como por ejemplo con el trigo.

1.2 TRIGO

El trigo como los demás cereales, es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las gramíneas. La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum* significa, por lo tanto, "el grano que es necesario trillar para poder ser consumido" (Hoseney, 1991). La composición y la calidad del trigo son determinadas en gran parte por las condiciones climatológicas prevalecientes y en menor grado por el tipo de suelo. El tiempo fresco, particularmente cuando va asociado con precipitaciones abundantes durante el periodo de crecimiento, da por resultado un grano suave, de alto contenido de almidón y bajo en proteína. Por otra parte, cuando el trigo crece en zonas cálidas, moderadamente secas, los granos son duros, vítreos, con un alto contenido de proteína y bajos en almidón (Del Bo, 1976).

1.2.1 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA

Las partes de la planta de trigo se pueden describir de la siguiente manera (Figura 4):

- **Raíz:** El trigo posee una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad.
- **Tallo:** El tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 2 metros de altura, es poco ramificado.
- **Hojas:** Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas.
- **Inflorescencia:** La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la

mayoría de las cuales abortan, rodeadas por glumas, glumillas o glumelas, lodículos o glomélulas.

- **Granos:** Los granos son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados (Figura 5). El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa de aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten (Del Bo, 1976).

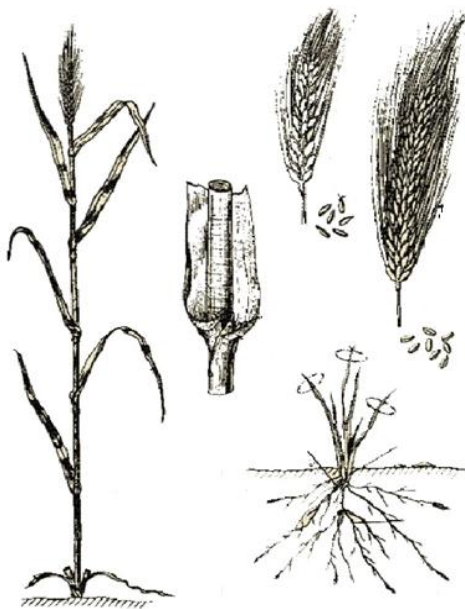


Figura 4. Morfología de la planta de trigo.

Fuente: Hosenev, 1991.

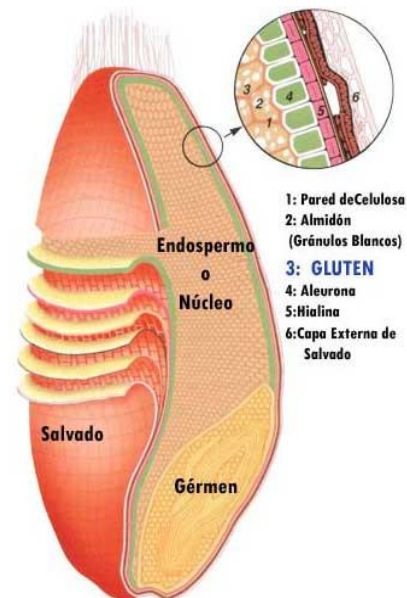


Figura 5. Corte longitudinal y transversal de un grano de trigo.

Fuente: Hosenev, 1991.

1.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRIMENTAL

Los nutrientes del trigo (Tabla 9), se encuentran distribuidos en las diversas partes del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está casi exclusivamente en el 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.

Tabla 9. Composición química del trigo (g/100 g base seca).

COMPONENTE	%
Humedad	10.5
Lípidos	2.1
Proteína	12.0 ^a
Ceniza total	1.9
Fibra cruda	2.6
Carbohidratos	70.9

^a Proteína= Nx5.7

Fuente: Paredes *et al.*, 1997.

El grano de trigo se puede dividir en tres partes diferentes, según su composición química:

- Salvado: cuyo componente químico mayoritario es celulosa y hemicelulosa, contiene minerales (calcio, magnesio, hierro, potasio, sílice, etc.) y fibra (ésta es fundamental en la regulación de la absorción y movilidad intestinal)
- Germen: El componente mayoritario de este grupo es la materia grasa, seguido de proteínas y vitaminas muy importantes (B1, B2, B6, E, K, etc.), además, gran cantidad de minerales (potasio, fósforo, calcio, magnesio)
- Endospermo: El componente mayoritario de esta parte del grano es el almidón, seguido de proteínas (responsables del gluten) y en un menor porcentaje lípidos. Los gránulos de almidón se encuentran en el interior de células vegetales, llamadas plastidios, cuya composición química son: pentosanas, principalmente, seguido de hemicelulosa y β -glucanos (Hoseney, 1991).

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa y rafinosa), que favorecen a obtener mucha energía; compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas); lípidos (ácidos grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oléico, linoléico); sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (tiamina, riboflavina y otras del complejo B); enzimas

(β -amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos (Primo 1987; Hosney, 1991).

El grano de trigo es fuente de proteínas incompletas, esto significa que pudiera contener los 8 aminoácidos esenciales pero no todos ellos en niveles adecuados, por lo que, la combinación del trigo con otros alimentos podría proporcionar una proteína completa (Tabla 10). El primer aminoácido limitante es la lisina, seguido, por la metionina y treonina (Primo, 1987; Serna, 1996).

**Tabla 10. Composición de aminoácidos del Trigo
(g/100 g de proteína)**

Fenilalanina	2.6	Treonina	2.4	Arginina	10.6
Histidina	4.1	Triptófano	1.1	Cisteína	1.5
Isoleucina	2.9	Valina	4.2	Glicina	6.1
Leucina	5.1	Ac. aspártico	3.7	Prolina	9.0
Lisina	3.7	Ac. glutámico	20.0	Serina	5.3
Metionina	1.2	Alanina	4.2	Tirosina	1.7

Fuente: Primo, 1987.

1.2.3 CLASIFICACIÓN Y USOS

A nivel general, el trigo se clasifica de acuerdo a la textura del endospermo, porque esta característica del grano está relacionada con su forma de fraccionarse en la molturación, la cual puede ser vítrea o harinosa, y de acuerdo a la riqueza proteica, porque las propiedades de la harina y su conveniencia para diferentes objetivos, están relacionadas con esta característica (Dendy, 2001).

De esta manera, se pueden mencionar las especies de trigo: *T. aestivum* (candeal), *T. aethiopicum*, *T. araraticum*, *T. boeoticum* (escaña silvestre), *T. carthlicum*, *T. compactum* (club), *T. dicoccoides* (escanda), *T. dicoccum* (farro), *T. durum*, *T. ispahanicum*, *T. karamyshevii*, *T. macha*, *T. militinae*, *T. monococcum* (escaña cultivada), *T. polonicum* (polaco), *T. repens*, *T. spelta* (espelta), *T. sphaerococcum*, *T. timopheevii*, *T. turanicum*, *T. turgidum*, *T. urartu*, *T. vavilovii* y *T. zhukovskyi* (Dendy, 2001).

Los trigos más importantes para el comercio (Figura 6) son el *Triticum durum* (utilizado principalmente para pastas y macarrones), el *Triticum aestivum* (utilizado para elaborar pan) y el *Triticum compactum* (se utiliza para hacer galletas) (Dendy, 2001).

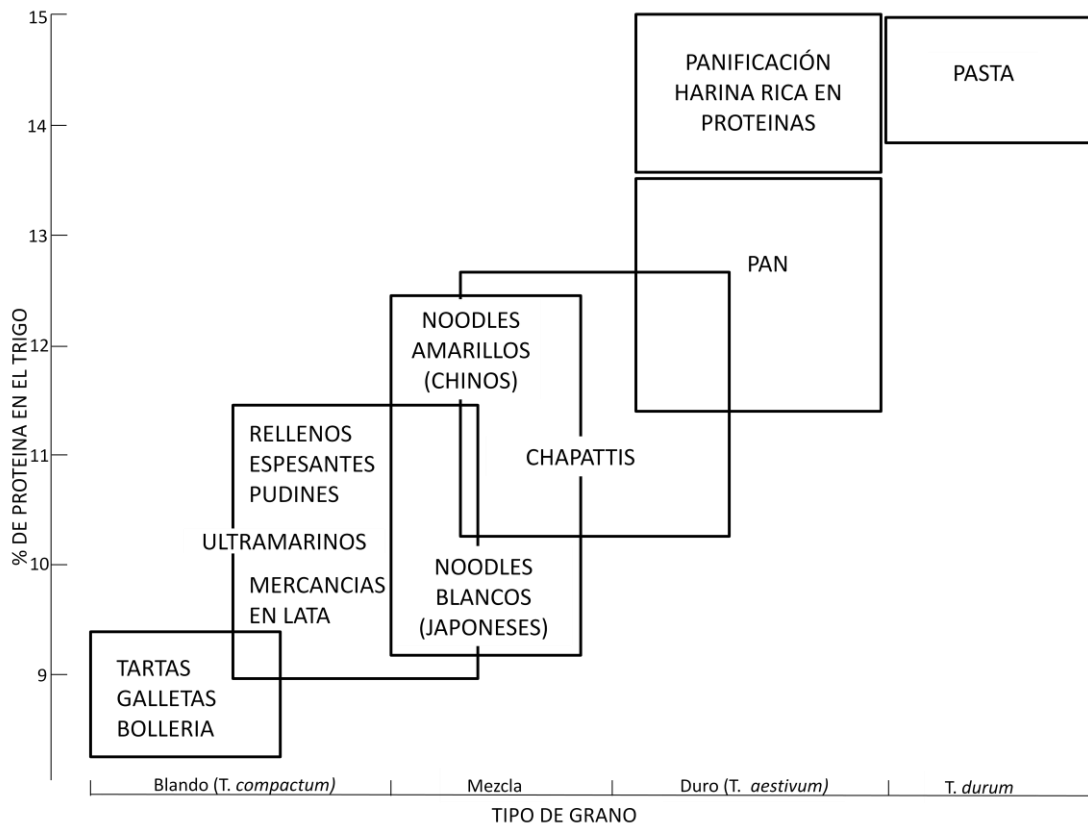


Figura 6. Tipos de trigo y los productos obtenidos con ellos.
 Fuente: Kill y Turnbull, 2004

El grano también se puede usar en la manufactura de dextrosa, alcohol y de algunos preparados para desayuno.

Los subproductos derivados de la conversión del trigo en harina representan del 25 al 30% del peso del grano. En ello se comprende a materiales tales como salvado, el granillo, la harina de segunda y otras partes de la molienda del grano, los cuales sirven como un suplemento valioso en muchas raciones ganaderas, pero debido a su importancia como alimento humano sólo una pequeña parte se usa para ese propósito (Soldano, 1978).

Los productos resultantes de la molturación se clasifican técnicamente, según el diámetro de las partículas, en:

- Salvadillo: >500 μm
- Sémola: 200-500 μm
- Semolina: 120-200 μm
- Harina. 14-120 μm

Del trigo también se puede sacar gluten, que como sabemos, forma parte de la harina junto con el almidón. Para esto es necesario obtener la harina en la molienda y luego sacar de ella el gluten. El gluten encuentra aplicación en la industria alimentaria, pues se emplea en la elaboración de pan, galletas, pastas, entre otros (Sánchez,1990).

La composición y el valor nutritivo de la harina van a depender del grado de extracción (cantidad de harina obtenida a partir de 100 kg de cereal) (Tabla 11). Así, a mayor porcentaje de extracción, mayor contenido en fibra, vitaminas y minerales (Kent, 1987; Mataix y Carazo, 2002).

Tabla 11. Grado de riqueza en energía, macronutrientes, minerales y vitaminas de las harinas de trigo según su grado de extracción.

Grado de extracción (%)	Energía (MJ)	Energía (kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	Fibra (g)
100	1.35	318	13.2	2	9.8
85	1.39	327	12.8	2	7.5
72	1.43	337	11.3	1.3	3
40	1.48	347	10.8	1.3	3

Fuente: Mataix y Carazo, 2002.

Como ya se había mencionado anteriormente con el trigo se hacen muchos productos como las pastas alimenticias; las cuales se elaboran a partir de sémola y semolina procedentes de harinas con un grado de extracción inferior al 70%, es por esto que se disminuye la calidad nutrimental de dichos productos (Kent, 1987). Pero es un producto importante porque, el consumo de pastas en general es de alta aceptabilidad,

relativamente de bajo costo, de fácil preparación, almacenamiento y larga vida de anaquel; considerado además un alimento funcional por su bajo aporte de grasa y sodio.

1.3 PASTA

Pasta, o pastas alimenticias, son términos que describen un gran número de productos basados en trigo, formados con una masa pero no esponjados. Los procesos de obtención son muy diferentes, como también los tipos de harinas utilizadas.

Según la Norma Mexicana una pasta alimenticia es aquel producto elaborado por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de harina o semolina de trigo, agua potable y con o sin la adición de otros ingredientes opcionales como pueden ser: sémola, gluten, clara de huevo deshidratada, sazónadores y aditivos permitidos (NMX-F-023-S-1980).

La materia prima ideal para la pasta es la semolina obtenida de trigos de la especie *T. durum*, los cuales son ricos en pigmentos carotenoides que se encuentran en el endospermo y confieren a la pasta su color amarillo-crema (Hoseney, 1991).

Las variedades de trigos *durum* son principalmente trigos de primavera, aunque también se conozcan *durum* de invierno; son generalmente de color ámbar, aunque en realidad son trigos blancos con el endospermo traslúcido que les da el aspecto ambarino. También se conocen trigos *durum* rojos, pero se utilizan para piensos y no en la producción de semolina (Hoseney, 1991).

Los trigos *durum* no sirven para panificación. El gluten del *durum* suele ser más débil que el gluten del trigo común. Sin embargo, las variedades desarrolladas más recientemente, tienen el gluten más fuerte. Curiosamente, los *durum* con gluten más fuerte producen pasta con el efecto “al dente” más fuerte (Hoseney, 1991).

La característica más sobresaliente de estos granos es su dureza. El grano es físicamente muy duro, mucho más duro que los trigos duros de la especie *T. aestivum*. Es molturable produciendo buenos rendimientos de semolina, que es la fracción media purificada del trigo *durum* porque es tan duro que es difícil reducirlo hasta harina fina. Cuando se reduce a harina, el porcentaje de almidón dañado es varias veces superior al que se produce en los trigos comunes. En el proceso de molturación del *durum*, también se produce harina, pero por lo general es de valor inferior al de la semolina y se puede utilizar para hacer

pasta pero no son tan resistentes al exceso de cocción como son las hechas con semolina (Kill y Turnbull, 2004; Hosenev, 1991).

La pasta de semolina es un alimento nutricionalmente no balanceado, debido a su escaso contenido de grasa y fibra dietética, y al bajo valor biológico de su proteína, originado por la deficiencia de lisina en la proteína del trigo. Cuando se consume enriquecida con huevo o en combinación con carne se incrementa su valor nutricional, pero también su costo. Sin embargo, se podría incrementar el valor nutricional de este alimento al mezclar la semolina de trigo con subproductos industriales de menor costo, como la harina desgrasada de otra semilla para aumentar el contenido proteico (Granito, 2003).

1.3.1 CLASIFICACIÓN DE PASTAS

Se puede decir que existen dos clasificaciones de pastas alimenticias: una de acuerdo a los ingredientes adicionados a la masa y la segunda de acuerdo a su forma de elaboración (Cabrera, 2007).

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NMX-F-023-S-1980) las pastas secas para sopa y otros platillos se clasifican en tres tipos con un solo grado de calidad:

- **Tipo I.** Pastas amarillas o blancas de harina de trigo o semolina para sopa: Se entiende por este producto al elaborado por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de semolina y/o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales y aditivos permitidos.
- **Tipo II.** Pasta de harina de trigo o semolina con huevo para sopa: Se entiende por este producto al que cumple con el apartado anterior y en su composición debe tener no menos de 4.2% de sólidos de huevo entero o de yema de huevo o bien 16.8% de huevo entero líquido o de yema de huevo líquido y los aditivos permitidos exceptuando los colorantes artificiales y naturales.
- **Tipo III.** Pastas de harina de trigo o semolina con vegetales (indicando cuáles) para sopa: Son los productos del Tipo I y que contienen en su formulación: vegetales tales como zanahoria, tomate, espinacas o betabel, en cantidades no menor de 3.0% del vegetal deshidratado en el producto terminado, ingredientes opcionales y los aditivos permitidos exceptuando colorantes artificiales.

Para la segunda clasificación se toma en cuenta su forma o impresión de la pasta:

- PASTAS CORTAS (menudas, fantasía y huecas)
- PASTAS LARGAS (macarrón, espagueti y tallarín)
- FIDEOS

1.3.2 PRODUCCIÓN Y CONSUMO

La pasta alimenticia es un producto de consumo masivo y de alta aceptabilidad a nivel mundial, debido a su bajo costo, su facilidad de preparación y almacenamiento, considerado además un alimento funcional por su bajo aporte de grasa y sodio y baja respuesta glicémica (Jenkis *et al.*, 1987, Araya *et al.*, 2003).

Se estima que la producción nacional, si bien no ha aumentado, se ha mantenido constante (Tabla 12), con un promedio de 19,879 toneladas y un valor de 181,821 miles de pesos.

Tabla 12. Volumen y valor de producción de pastas alimenticias por año

Año/Periodo	Volumen (Toneladas)	Valor (Miles de pesos)
2000/12	19,952	146,784
2001/12	20,659	163,505
2002/12	21,819	181,910
2003/12	20,261	182,829
2004/12	19,918	195,137
2005/12	20,665	208,363
2006/07	17,794	179,995
2007/06	17,966	196,052
Estadísticos:		
Media	19,879	181,821

Fuente: INEGI Encuesta Industrial Mensual.

Por otra parte, se puede ver, en los datos de producción mensual comprendidos de los años 2000 al 2007 (Tabla 13), que en general, durante el curso del año la producción se mantiene constante (INEGI 2007). Esto nos indica de manera indirecta que las pastas alimenticias, son un producto que prácticamente es consumido durante todo el año, además, es un alimento que es consumido por todos los miembros de la familia; pero éstas son de una calidad nutrimental pobre, aunque existe la posibilidad de mejorarlas con otros granos. Es por eso que la pasta para sopa es una buena opción para ser

utilizada como recurso para el mejoramiento del nivel nutricional de la población consumidor.

Tabla 13. Volumen en toneladas de producción por mes de pastas alimenticias.

Año Periodo	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Enero	18,402	20,781	20,031	21,641	17,108	16,251	18,701	20,279
Febrero	16,504	18,538	17,408	20,618	16,882	17,948	17,505	20,290
Marzo	19,028	18,905	16,484	20,156	17,630	17,220	18,270	17,761
Abril	14,744	13,947	21,842	15,927	17,099	19,907	17,327	15,908
Mayo	22,559	21,321	23,220	21,467	19,590	21,150	18,144	16,604
Junio	21,358	22,670	22,430	20,566	20,313	19,122	18,047	17,966
Julio	20,556	21,434	23,171	21,250	20,439	19,445	16,562	----
Agosto	21,624	23,931	25,313	20,636	21,266	22,128	----	----
Septiembre	20,633	21,216	21,277	19,373	21,873	23,606	----	----
Octubre	22,026	24,054	24,026	22,653	22,780	23,696	----	----
Noviembre	22,063	21,220	24,328	21,365	21,355	23,267	----	----
Diciembre	19,921	19,880	22,298	17,838	22,685	24,238	----	----
Estadísticos:								
Media							19,893	

Fuente: INEGI Encuesta Industrial Mensual.

Las pastas se pueden hacer con maquinaria a pequeña escala o de forma manual, pero sin duda la mayor parte de las pastas comerciales se hacen en grandes líneas de producción en continuo y altamente automatizadas que producen desde 5 kg/h hasta más de 3000 kg/h (Dendy, 2001).

Existen básicamente dos maneras de procesar pastas: pasta manufacturada vía extrusión en frío y pasta prensada/troquelada; ésta última se emplea para la producción de pasta tipo "tallarín" (Dendy, 2001). Por lo que en este trabajo sólo se hace referencia al proceso de prensado/troquelado.

En ambos procesos de producción de pastas, las etapas generales son similares: la semolina se hidrata, amasa, forma y seca, para formar el producto terminado que posee una prolongada vida de anaquel (Dendy, 2001).

1.3.3 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTAS PRENSADO/TROQUELADO

La semolina se coloca en la amasadora y se añade agua y sal. La cantidad de agua es limitada, generalmente menos del 35% del peso de la harina. Esta cantidad de agua no es suficiente para formar masa al principio. En su lugar, la harina forma esferas o bolas. El amasado dura generalmente 5 a 10 min y tiene la función principal de repartir uniformemente el agua (Kill & Turnbull, 2004).

Después de amasar, se deja reposar la masa durante 10 a 15 min, lo que también ayuda a distribuir el agua por las partículas de harina. Después se comprime la frágil masa entre dos rodillos de gran diámetro, produciendo una lámina de masa de un centímetro de espesor. La lámina de masa se va rebajando de espesor con siete a diez pasos sucesivos por rodillos de reducción. Una vez alcanzado el espesor deseado de 1 a 2 mm, pasa por un par de rodillos cortadores (Kill & Turnbull, 2004). El objetivo de la laminación es formar una película de masa de espesor uniforme y con desarrollo de gluten. Las operaciones de laminación desarrollan masas de panificación de modo muy parecido a como desarrollan gluten las amasadoras (Hoseney, 1991).

El corte de la pasta se realiza con un par de rodillos acanalados, alineados de forma que coincidan las crestas. Se consigue así la pasta con la sección transversal cuadrada y la merma (masa sobrante del corte) es reciclada. Después se colocan en una cámara para secar (Hoseney, 1991).

Sin lugar a duda, la parte más crítica del proceso es el secado; éste consiste en la evaporación de la gran parte del agua (31% a 10% de humedad) de la pasta formada. La velocidad de deshidratación está ligada a la presión de vapor de la masa y a la disponibilidad del agua en la periferia de la pasta formada. La velocidad de difusión del agua dentro del producto formado se encuentra muy relacionada con el perfil de temperatura y humedad. Por lo general se remueve 40% del agua en corto tiempo (30 min). Posteriormente, la pasta se somete a baja temperatura con alta humedad relativa (90%) con el objetivo de lograr el equilibrio entre la humedad del centro con la del exterior de la pasta (2 a 3 horas). Finalmente la pasta se deshidrata lentamente (45°C) hasta llegar a 10-12% de humedad (8 a 12 horas) recomendada para empaque y comercialización (Dendy, 2001).

El producto terminado debe retener su integridad y tener una buena vida útil y de estabilidad durante su almacenamiento. Si el secado es muy lento, la pasta resultará más propensa a contaminarse de hongos y si es muy rápido, es más susceptible a quebrarse durante su manejo debido a una mayor formación de microfisuras (Cheftel, 1999; Dendy, 2001).

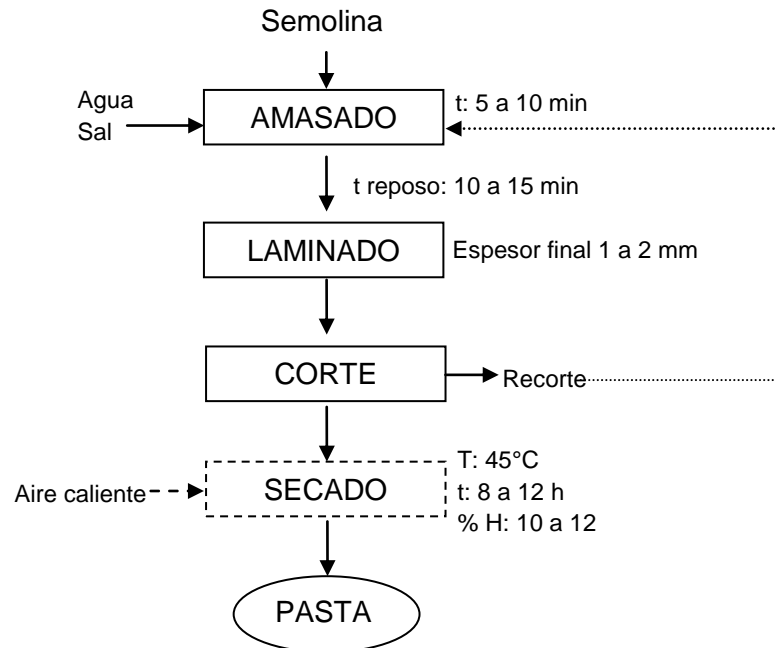


Figura 7. Diagrama de proceso para la elaboración de la pasta tipo tallarín.

Fuente: Dendy, 2001.

1.3.4 CALIDAD DE LA PASTA

Para obtener una pasta alimenticia de “excelente” calidad se debe tener un estricto control de la materia prima para su elaboración. También se deben considerar las características sensoriales y de cocción (Cabrera, 2007).

La pasta no cocinada debe ser fuerte mecánicamente, de forma que conserve su tamaño y forma durante el empaquetamiento y transporte. Debe ser también de color amarillo uniforme. Durante la cocción en agua hirviendo, el producto debe mantener su forma y no abrirse o desmoronarse, también deberá absorber unas 2 veces su peso de agua y su volumen se multiplica por 3 o 4. Además la pasta cocinada debe quedar firme al mordisco (cualidad llamada “al dente”) y la superficie no debe ser pegajosa, por lo que si la cocción es muy prolongada y la gelatinización del almidón excesiva, sucede lo contrario (se hacen pegajosas). El agua de cocción debe quedar libre de almidón. Finalmente, la pasta debe ser resistente al exceso de cocción (Cheftel, 1999; Hosney, 1991).

1.3.4.1 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LA PASTA

Para determinar la calidad culinaria de las pastas se deben realizar las siguientes pruebas, evaluándolas durante el cocimiento:

- **Tiempo de cocción:** Es el tiempo necesario para la total gelatinización del almidón presente en la pasta. La pasta debe tolerar un calentamiento en agua a ebullición, manteniendo su forma y sin adquirir una consistencia pegajosa o desintegrarse (Cabrera, 2007).
- **Porcentaje de sedimentación:** Es el volumen en mililitros que ocupa el sedimento producido por la pasta durante el cocimiento. Este sedimento está constituido principalmente por almidón que se desprende de la pasta por efecto de la cocción. Un porcentaje de sedimento menor, indica una mayor calidad del gluten y por tanto de la sémola (Cabrera, 2007).
- **Índice de tolerancia al cocimiento:** Es la diferencia entre el tiempo en minutos en que la pasta empieza a romperse por acción del cocimiento y su tiempo de cocción. Cuando más resistente sea la pasta, más tardará en empezar a romperse, lo que está relacionado con características de gluten fuerte y por tanto de sémola de mejor calidad (Cabrera, 2007).

Para la determinación de la calidad culinaria, pero de la pasta ya cocida, los parámetros que se determinan son dos: el grado de absorción y el incremento del volumen. Estas dos pruebas están relacionadas principalmente con el porcentaje de lesión del almidón, capacidad de absorción de agua y el cambio de volumen del almidón. La intensidad del daño varía con la severidad de la molturación y con la dureza del trigo (Cabrera, 2007).

- **Grado de absorción:** Es la cantidad de agua absorbida por la pasta durante su cocimiento. Una buena pasta absorbe por lo menos el doble de su peso en agua (Cabrera, 2007).
- **Incremento de volumen:** Los productos de buena calidad se hinchan de tres a cuatro veces su volumen original o al menos debe hincharse al doble de su volumen (Cabrera, 2007).

1.3.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS HARINAS

Las propiedades reológicas de la masa juegan un papel importante en la calidad del producto y es necesario su determinación para poder proveer el comportamiento de los distintos tipos de harinas o la mezcla de harinas al someterse a un amasado, también auxilian en la selección del tipo y cantidad de aditivos a utilizar; dando un panorama general de la calidad de la masa (Quaglia, 1991).

El farinógrafo Brabender, es un reómetro con amasador de medida, el cual mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia (Calaveras, 2003).

El principio de la medida se basa en el registro de la resistencia que la masa opone a una acción mecánica constante en unas condiciones de prueba invariables (Calaveras, 2003).

Tal resistencia se representa sobre un diagrama de esfuerzo-tiempo a partir del momento de la formación de la masa y durante todo el periodo de la prueba. El diagrama obtenido reproduce en forma visual el conjunto de características de calidad de la harina (Calaveras, 2003).

El criterio esencial del farinograma es la determinación exacta de la absorción de agua por la harina, basada en consistencia específica de la masa (Calaveras, 2003).

Los resultados del farinógrafo también son útiles para predecir las características de textura del producto terminado.

Los índices que normalmente se determinan con el análisis farinográfico son como los que se muestran en la Figura 8.

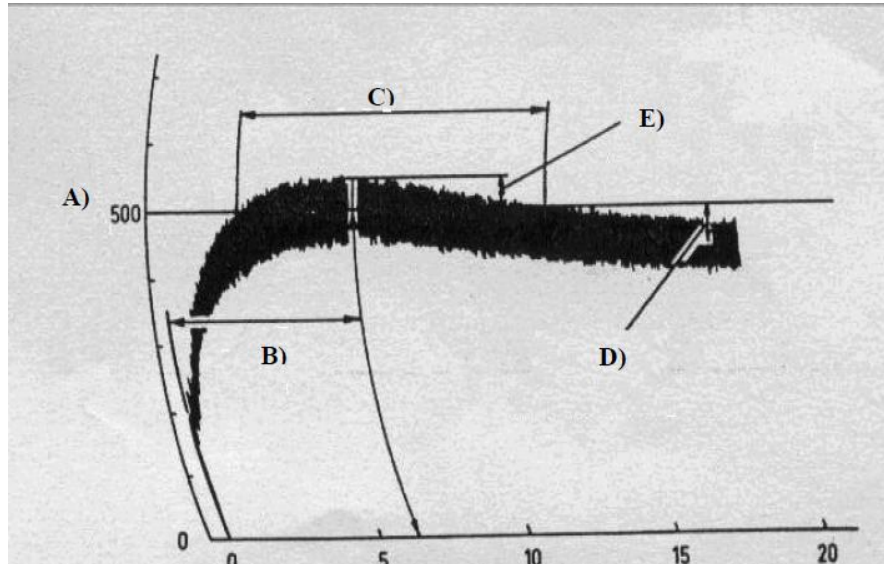


Figura 8. Modelo de farinograma.

A) absorción de agua; B) periodo de desarrollo (de la masa); C) estabilidad (de la masa); D) grado de ablandamiento, E) índice de tolerancia. Fuente: Quaglia, 1991

- A. Capacidad de absorción de agua (%):** Indica la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 UF (unidades farinográficas).
- B. Desarrollo de la masa o periodo de desarrollo (min):** Es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia, es decir, la altura máxima de la curva que se expresa en UF se fija al comienzo de la prueba. Hay que tener presente que la consistencia de la mezcla disminuye al aumentar el contenido en agua a una medida de 20 UF por 0.7 ml de agua para 100 g de harina.
- C. Estabilidad de la masa (min):** Es el intervalo de tiempo durante el cual la masa mantiene la máxima consistencia y se mide por el tiempo entre la intersección de la línea con valor a 500 UF (unidades farinográficas) con la curva en ascenso o descenso.
- D. Grado de ablandamiento (UF):** Representa la diferencia entre la máxima consistencia de la masa y la que se obtiene después de 10-20 minutos, es decir indica como está la masa al final del amasado.
- E. Índice de tolerancia (UF):** Es la caída de la curva 5 min después del punto más alto (Quaglia, 1991; Calaveras, 2003).

Para realizar las pruebas reológicas con el farinógrafo; es necesario determinar el contenido de humedad y proteína de las muestras a analizar, ya que estos dos parámetros influyen directamente en la capacidad de absorción de agua de la harina y éste a su vez es un factor importante para la determinación de la consistencia de la masa (Cabrera, 2007).

La aptitud de una harina utilizando los análisis farinográficos se puede evaluar mediante la siguiente clasificación (Quaglia, 1991):

- Calidad óptima: caída de la masa entre 0 y 30 UF (estabilidad superior a 10 minutos).
- Calidad buena: caída de la masa entre 30 y 50 UF (estabilidad no inferior a 7 minutos).
- Calidad discreta: caída de la masa entre 50 y 70 UF (estabilidad no inferior a 5 minutos).
- Calidad mediocre: caída de la masa entre 70 y 130 UF (estabilidad no inferior a 3 minutos).
- Calidad baja: caída superior a 130 UF (estabilidad inferior a 2 minutos).

Con base en la información anterior, presentada en los antecedentes y de acuerdo a lo planteado por la FAO sobre que, los problemas de malnutrición en los países en desarrollo, se sustentan en la falta de inclusión de micronutrientes en la dieta y en el bajo consumo de alimentos que contengan buena disponibilidad de proteína y energía.

En el presente trabajo, se plantea desarrollar una nueva formulación de pasta complementada con harina de ajonjolí desgrasada para mejorar su calidad nutrimental, con características culinarias y atributos sensoriales aceptables como una pasta elaborada con trigo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

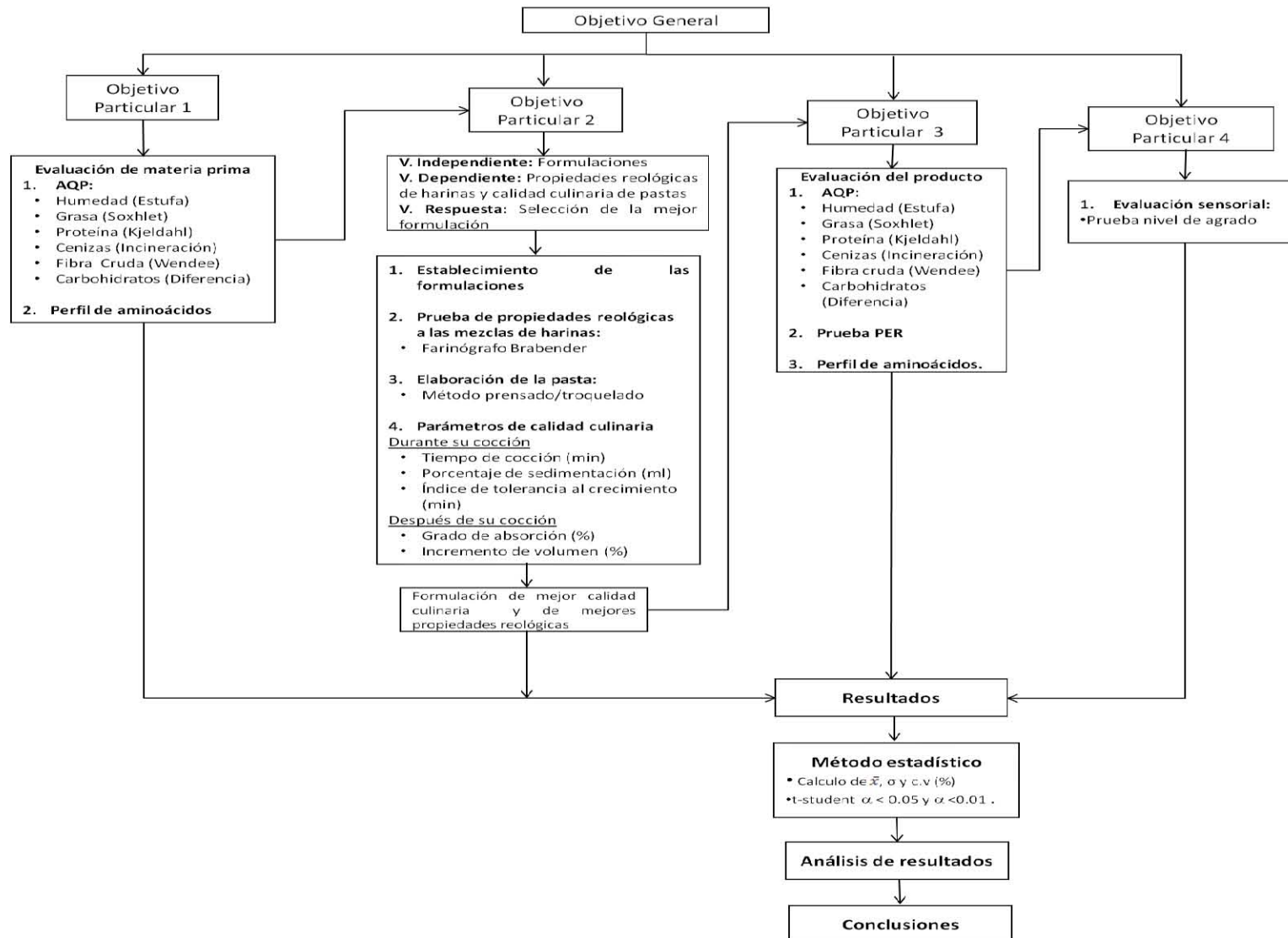
Desarrollar una formulación para la elaboración de una pasta para sopa, complementándola con harina de ajonjolí, mejorando su calidad nutrimental y conservando su calidad culinaria.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar la composición química de las harinas que se utilizarán como materia prima, por medio de un análisis químico proximal (AQP) y un perfil de aminoácidos, definiendo así su calidad nutrimental.
2. Evaluar diferentes formulaciones con un mínimo de 50% de ajonjolí, mediante pruebas reológicas a las mezclas de harinas y pruebas de calidad culinaria a las pastas, para seleccionar la mejor formulación.
3. Comparar si la calidad nutrimental de la pasta, elaborada con la formulación seleccionada, es mejor que la de una pasta tradicional de trigo, midiendo su AQP, perfil de aminoácidos y su relación de eficiencia proteica (PER).
4. Demostrar si la pasta seleccionada por su mejor calidad culinaria y nutrimental es aceptada por el consumidor por medio de una evaluación sensorial de nivel de agrado.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 CUADRO METODOLÓGICO



3.2 MATERIA PRIMA

Las harinas que se emplearon fueron sémola de trigo cristalino donada por grupo Trimex, harina desgrasada de ajonjolí (Dipasa), gluten de trigo (Fabpsa), amaranto (Tulyehualco cosecha 2010).

3.3 FORMULACIONES

Basándose en el trabajo realizado por Cabrera (2007), se plantearon diferentes formulaciones a partir de harina de ajonjolí, sémola de trigo y gluten aislado de trigo, considerando que el porcentaje de ajonjolí siempre fuera mayor al 50%, debido a que se deseaba complementar la pasta, para que el aporte nutrimental fuera significativo; el amaranto solo se usó en una formulación para mejorar el sabor en la pasta.

Tabla 14. Formulaciones propuestas para la elaboración de la pasta

FORMULACIÓN (%)	1	2	3	4	5	6
MATERIA PRIMA						
Sémola de trigo	100	40	20	15	15	20
Harina de ajonjolí	0	50	60	60	70	80
Harina de amaranto	0	0	0	10	0	0
Gluten	0	10	20	15	15	0

3.4 ELABORACIÓN DE LA PASTA

Se prepararon lotes de 100g de pasta tipo tallarín de acuerdo a las formulaciones propuestas (Tabla 14). Para todas las formulaciones se siguió el mismo procedimiento, primero se pesaron los ingredientes y se mezclaron en seco, se adicionó agua a una temperatura de 45°C y se amasó manualmente. La masa homogénea se dejó reposar durante 10 min y posteriormente se laminó al grosor deseado; utilizando una máquina para pasta marca Marcato Atlas, modelo 150 de rodillos intercambiable con 9 diferentes niveles de abertura de los rodillos; se usaron los niveles 1, 4 y 6. Después se realizó el troquelado o corte, haciendo pasar la pasta laminada por un par de rodillos acanalados. La pasta obtenida fue sometida a un secado en una estufa marca Blue M, modelo OV-490A-3 con circulación de aire, por 4 h a una temperatura de 55°C. El diagrama de proceso se muestra en la Figura 9.

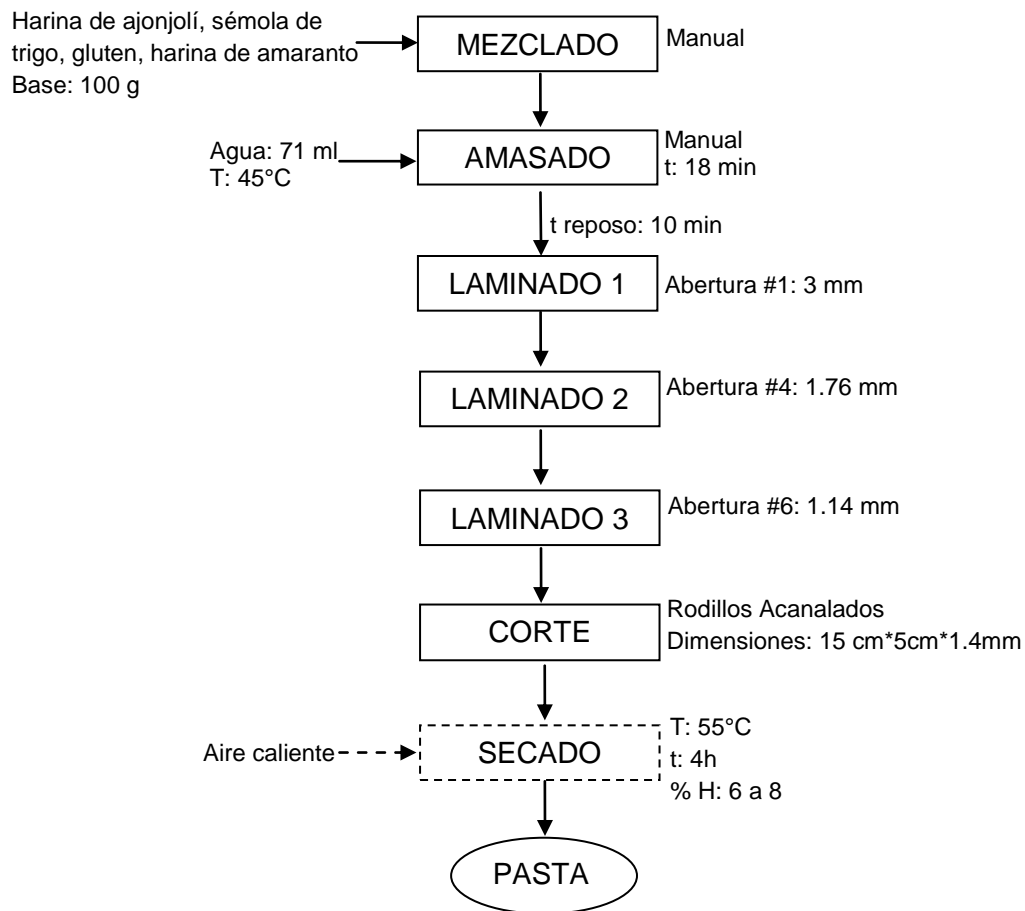


Figura 9. Diagrama de proceso para la elaboración de la pasta para sopa tipo tagliarín.

El diagrama que se muestra en la Figura 9, es una adaptación del proceso general empleado para la elaboración de pastas tipo tagliarín mediante el método prensado/troquelado, considerando los principios o funciones que desempeña cada operación unitaria en el proceso y cuidando siempre las condiciones de operación, descritas para el diagrama de proceso (Figura 7).

3.5 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (AQP)

Se realizó este análisis a la materia prima: sémola de trigo, harina desgrasada de ajonjolí y las pruebas fueron: humedad, cenizas, lípidos, fibra cruda, proteína (Nx6.25 para ajonjolí y Nx5.83 para trigo) y carbohidratos por diferencia, de acuerdo a los métodos propuestos por la AOAC (2000).

a) Humedad (Estufa): Es la evaporación del agua a una temperatura de 100-110°C evitando el desprendimiento de compuestos de carbono. La diferencia entre la muestra húmeda y los sólidos secos es la humedad evaporada. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% H = \left[\frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \right] \times 100$$

Donde:

W_1 : Peso de la muestra (g)

W_2 : Peso de la caja con muestra húmeda (g)

W_3 : Peso de la caja con muestra seca (g)

b) Proteína (Microkjeldahl): Se basa en la combustión húmeda de la muestra calentada con H_2SO_4 concentrado, en presencia de un catalizador metálico donde se transforman las sustancias nitrogenadas en NH_4SO_4 valorable con desprendimiento de CO_2 y formación de agua (DIGESTIÓN), la muestra obtenida es colocada en un destilador con la finalidad de obtener NH_3 libre a partir del NH_4SO_4 agregando $NaOH+Na_2S_2O_3$ y recibiendo el destilado en un volumen de HBO_3 (DESTILACIÓN) y quedando atrapado el NH_3 para finalmente titularlo con el objeto de valorar el ácido en exceso y calcular el NH_3 desprendido (TITULACIÓN). El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

$$\text{Nitrogeno total} = \left[\frac{(V_2 - V_1)(N)(0.014)}{W} \right] \times 100$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = (\text{Nitrogeno total})(F)$$

Donde:

V_1 : Volumen inicial de HCl (ml)

V_2 : Volumen gastado de HCl (ml)

N: Normalidad del HCl

W: Peso de la muestra (g)

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína: Ajonjolí: 6.25 y Trigo: 5.83

- c) Grasa (Soxhlet):** Se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de una muestra libre de humedad. El disolvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble.

$$\% \text{ Grasa extraible} = \left[\frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \right] \times 100$$

Donde:

W_1 : Peso de la muestra seca (g)

W_2 : Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 : Peso del matraz con grasa (g)

- d) Cenizas (Incineración directa):** El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 530°C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{ Cenizas totales} = \left[\frac{(W_3 - W_2)}{W_1} \right] \times 100$$

Donde:

W_1 : Peso de la muestra (g)

W_2 : Peso del crisol sin muestra (g)

W_3 : Peso del crisol con muestra (g)

- e) Fibra (Wendee):** Se fundamenta en la digestión, primero ácida y después alcalina, donde se hidrolizan y solubilizan las proteínas, grasas y azúcares quedando como residuo la fibra.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \left[\frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_5} \right] \times 100$$

Donde:

W_1 = Peso del papel filtro (g)

W_2 = Peso del papel filtro con residuos secos (g)

W_3 = Peso del crisol vacío (g)

W_4 = Peso del crisol después de la incineración (g)

W_5 = Peso de la muestra sin grasa (g)

- e) Carbohidratos:** La determinación de carbohidratos se hizo por diferencia.

3.6 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS A LAS MEZCLAS DE HARINAS

Para realizar estas pruebas se utilizó un Farinógrafo E, marca Brabender, modelo SEW, como el que se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Farinógrafo para la determinación de propiedades reológicas en harinas.

Fuente: TECNOSA, Nuevas Tecnologías, S.A.

Se determinó el contenido de humedad de la harina por analizar. Se encendió el equipo y se inició el programa que controla el farinógrafo. Después de ingresar los datos de contenido de humedad al sistema se pesó la cantidad de muestra que indicó el equipo. Se colocó la muestra en el contenedor del farinógrafo y se inició la prueba dejando trabajar el equipo durante un minuto o hasta que la curva en el gráfico llegara al minuto cero; en ese momento se empezó a agregar a la harina agua de la bureta a una temperatura de 30°C, mezclándose para formar una masa, y asegurándose de que la cubierta del contenedor estuviera bien cerrada una vez formándose dicha masa, para evitar que durante la prueba la masa salga, ocasionando que la prueba no concluya. Se introdujo cuidadosamente por la cubierta del contenedor una espátula de plástico para bajar la masa que se encontraba adherida en las paredes. Se observó la curva que se iba formando, si se colocaba por encima de las 500 unidades farinograficas (UF) había que agregar más agua. Cuando no se tiene información sobre los porcentajes de absorción, se hace una determinación por medio de prueba y error. La curva se debe centrar en la línea de 500 UF \pm 20 UF agregando la cantidad adecuada de agua, y se despliega hasta que la curva se aleje de la línea de 500 UF. Una vez terminada la prueba se procedió a limpiar el equipo. Este procedimiento se realizó para todas las formulaciones propuestas.

3.7 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LA PASTA

Todos estos parámetros se evaluaron de acuerdo a lo propuesto por Cabrera (2007):

a) Tiempo de cocción:

Se pesaron 25 g de pasta seca y se agregaron a 500 ml de agua en ebullición. Después de 5 minutos se tomó un trozo de la pasta y colocándolo entre dos placas de vidrio se oprimió. Se observó si había presencia de núcleos opacos de almidón no gelatinizado (la presencia de puntos en el vidrio es señal de que la pasta no está completamente cocida). Posteriormente se tomó un trozo de pasta cada dos minutos. La prueba terminó cuando ya no se observaron núcleos opacos y se registró el tiempo en minutos, el cual se tomó como el tiempo de cocción.

b) Porcentaje de sedimentación:

Finalizando el tiempo de cocción, se separó la pasta del agua de cocción con ayuda de un colador. Se homogenizó el agua de cocción con un agitador de vidrio durante 1 minuto, para después medir 100 ml del agua de cocción en una probeta graduada. Se dejó reposar durante 2 horas. Después se midieron los mililitros que ocupó el sedimento blanco en la probeta, que es el equivalente al porcentaje de sedimentación.

c) Índice de tolerancia al cocimiento:

Se pesaron 25 g de pasta seca y se cocieron durante el tiempo de cocción establecido anteriormente en el inciso (a). Se continuó con la cocción de la pasta hasta que se observó al menos tres fragmentos de pasta rota. Se registró el tiempo en minutos que corresponde a la desintegración de la pasta. El índice de tolerancia al cocimiento se calculó por diferencia del tiempo de cocción y el tiempo de desintegración de la pasta.

$$\text{Índice de tolerancia al cocimiento}(\text{min}) = t_2 - t_1$$

Donde:

t_1 =tiempo de cocción de la pasta (min)

t_2 =tiempo de desintegración de la pasta (min)

d) Grado de absorción:

Se pesaron 25 g de pasta seca y se cocieron durante el tiempo de cocción establecido anteriormente. Se colocó la pasta en un colador y se dejó escurrir durante 10 min. Pesando la pasta después de escurrir se determinó el grado de absorción utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de absorción (\%)} = \left[\frac{(P_{PC} - P_{PS})}{P_{PS}} \right] \times 100$$

Donde:

P_{PC} : Peso de la pasta cocida (g)

P_{PS} : Peso de la pasta seca o cruda que corresponde a 25 g

e) Incremento de volumen:

Se pesaron 50 g de pasta seca. Se midieron 300 ml de agua en una probeta de 500 ml, después se introdujo la pasta seca en la probeta y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de la pasta en el agua. Se calculó el volumen de pasta seca de la siguiente manera:

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

Donde:

V_{PS} : Volumen de pasta seca (ml)

V_{2PS} : Volumen del desplazamiento de la pasta seca (ml)

V_{1PS} : Volumen inicial que corresponde a los 300 ml

Se pesaron 50 g de pasta seca y se sometió a cocimiento bajo las condiciones establecidas en el tiempo de cocción. Se colocó la pasta en un colador y se dejó escurrir durante 10 min. Se midieron 300 ml de agua en una probeta de 500 ml, después se introdujo la pasta cocida en la probeta y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de la pasta en el agua. Se calculó el volumen de la pasta cocida de la siguiente manera:

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

Donde:

V_{PC} : Volumen de pasta cocida (ml)

V_{2PC} : Volumen del desplazamiento de la pasta cocida (ml)

V_{1PC} : Volumen inicial que corresponde a los 300 ml

Finalmente se calculó el incremento del volumen de la siguiente manera:

$$\text{Incremento del volumen (\%)} = \left[\frac{(V_{PC} - V_{PS})}{V_{PS}} \right] \times 100$$

Donde:

V_{PS} : Volumen de pasta seca (ml)

V_{PC} : Volumen de pasta cocida (ml)

3.8 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER)

Se realizó el análisis de la calidad proteica, a la pasta tipo tallarín elaborada con la mejor formulación, mediante una prueba biológica conocida como el Índice de Eficiencia Proteica (PER), de acuerdo al método oficial 960.48 de la AOAC internacional (AOAC, 2006).

Para la realización de esta prueba se prepararon dos dietas isocalóricas e isoproteicas (10% de proteína), después se colocaron los animales (6 ratas para muestra control y 6 ratas para muestra a analizar, es decir, la pasta de la formulación seleccionada) en las jaulas individuales de un rack, siguiendo la distribución de “culebra japonesa”. Una vez distribuidos los animales en las jaulas individuales, se les colocó un comedero con la dieta correspondiente, en cantidad suficiente para que siempre contenga exceso de alimento y su consumo sea *ad libitum*, también se colocaron bebederos y siempre se mantuvieron con agua. Como las ratas al alimentarse tienden a desperdiciar alimento, se colocó debajo de cada jaula una charola hecha con papel manila, para recuperar este alimento, el cual se separó de las heces con la ayuda de un cernidor y se sumó para calcular el alimento real ingerido. Los animales se pesaron cada tercer día (lunes, miércoles y viernes) y se registró el peso de cada rata y el alimento real ingerido. Esto se realizó durante los 28 días que duró el experimento. Con los resultados obtenidos, se calculó el PER de cada uno de los animales, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PER = \frac{\Delta P}{\sum AI \times F} = \frac{\Delta P}{Cant_{proteina\ ingerida}}$$

Donde:

ΔP = Incremento de peso (g)

$\sum AI$ = Alimento ingerido acumulado o total (g)

F = factor de conversión unitario de alimento a proteína (% de proteína en la dieta/100).

Con cada uno de los valores individuales del PER, se procedió a calcular el PER promedio del lote en estudio con su correspondiente desviación estándar, y a su vez se calculó su coeficiente de variación (CV) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

σ = desviación estándar de los datos

\bar{x} = valor promedio del PER de los seis animales del lote.

Los datos del bioensayo debieron mostrar homogeneidad, para lo cual es necesario que el CV sea $\leq 15\%$, en caso contrario se debió reducir el intervalo de los datos presentados, eliminándose los valores extremos, o sea el dato más alto y el más bajo y se volvió a calcular el CV.

Ya que los métodos biológicos con mucha frecuencia presentan variación interlaboratorio, algunos investigadores han sugerido expresar el valor del PER en términos de Relación de Eficiencia Proteica ajustada o corregida (PER_a); para lo cual, es necesario contar con el valor experimental de este índice biológico del lote de animales alimentados con la dieta de caseína (referencia) que cumplan los requisitos mínimos de experimentación y un valor estandarizado de PER de 2.5 a la proteína de referencia (Caseína); por tal motivo, es conveniente informar el resultado en términos de PER_a :

$$PER_a = PER (prueba) \frac{PER (Caseína)_{STD}}{PER (Caseína)_{EXP}}$$

Donde:

PER (PRUEBA) = PER experimental de la proteína a evaluar

PER (CASEÍNA)_{STD} = PER de caseína estandarizado = 2.5

PER (CASEÍNA)_{EXP} = PER de caseína obtenido en el experimento

3.9 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS

La cuantificación de aminoácidos se realizó por el método de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC), de acuerdo a lo propuesto por Vázquez et al., (1995). El contenido de aminoácidos fue expresado como g/100 g de proteína.

3.10 DETERMINACIÓN DE TRIPTÓFANO

El triptófano se determinó por un método colorimétrico, de acuerdo a lo propuesto por Rao et al., (1974). El contenido de triptófano fue expresado como g/100g de proteína.

3.11 EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó una prueba de nivel de agrado a la pasta de mejor calidad culinaria y de mejores propiedades reológicas; cuyo objetivo es determinar el nivel de agrado o desagrado que provoca una muestra específica. Se utiliza una escala no estructurada (también llamada escala hedónica), sin mayores descriptores que los extremos de la escala, en los cuales se puntualiza la característica de agrado. Esta escala debe contar con un indicador del punto medio, a fin de facilitar al juez consumidor la localización de un punto de indiferencia a la muestra (Anexo 1).

La prueba es sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los jueces-consumidores y se requiere de un gran número de evaluadores para considerar resultados representativos de las tendencias de los gustos de una población o mercado (Pedrero y Pangbord, 1989). Por lo que se les pidió a 100 jueces no entrenados que probaran la pasta y que contestaran el cuestionario, como se muestra en el Anexo 1.

La sopa evaluada por los jueces, se preparó friéndola en aceite, éste previamente a una temperatura de 190°C, después se eliminó el exceso de aceite y se sazonó con jitomate (190 g), el cual previamente se sometió a una cocción en 750 ml de agua a temperatura de ebullición, ajo (1.2 g) y sal (2.7 g); estos ingredientes fueron triturados y mezclados con el agua de cocción de los jitomates. Posteriormente se filtró eliminando así las partículas grandes y quedando solo el caldillo, el cual se agregó lentamente a la pasta (500 g) después de freírla, luego se agregó más agua (750 ml) a temperatura de ebullición y se dejó que hirviera la sopa a fuego lento hasta que la consistencia estuviera “al dente”.

3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se utilizó la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de 0.05, exceptuando el análisis para los perfiles de aminoácidos, en los cuales se estableció un nivel de significancia de 0.01.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados del análisis químico proximal de la materia prima mostraron que la harina de ajonjolí (HA) tuvo un mayor contenido de nutrientes que la sémola de trigo (ST) (Tabla 15). La harina de ajonjolí tuvo 6 veces más grasa que la sémola, esto es importante porque es grasa de buena calidad, es decir, se sabe que contiene alto contenido de ácidos grasos esenciales como el linoleico y el oleico (Ang, 1996). El ajonjolí también tuvo cuatro veces más de fibra, la cual, por su capacidad de absorber agua regula la evacuación de los residuos alimenticios a través del intestino grueso, evitando el estreñimiento, entre otras cualidades (Ang, 1996; Mataix y Carazo, 2002).

Tabla 15. Análisis químico proximal de la materia prima utilizada en la elaboración de la pasta.

MATERIA PRIMA	% HUMEDAD	% GRASA	% FIBRA CRUDA	% PROTEÍNA	% CENIZAS	% CHO'S
H. Ajonjolí	3.90±0.02	8.88±0.18	8.01±0.66	46.64±1.06*	7.46±0.02	25.11
S. Trigo	12.72±0.01	1.29±0.09	2.0±0.1	9.15±0.5**	1.43±0.02	73.41

CHO'S: Carbohidratos; H. Ajonjolí: Harina de ajonjolí; S. Trigo: Sémola de trigo.

*Proteína=Nx6.25; **Proteína=Nx5.83.

También tuvo cinco veces más de minerales, principalmente calcio, el cual, es de fácil asimilación y es muy importante para mantener el sistema óseo (Palmetti, 2009); y además tuvo casi una tercera parte de los carbohidratos que tuvo la sémola, que disminuye el aporte calórico de fácil asimilación. Por último, tuvo casi cinco veces más proteína, la cual es de mejor calidad por contener mayor cantidad de aminoácidos esenciales respecto a la sémola de trigo (Tabla 16) y en la mayoría de los casos están por arriba de los requerimientos diarios que recomienda la FAO (Tabla 16). Estos resultados indican que la harina de ajonjolí por tener buena calidad nutrimental podría servir para complementar la pasta tradicional de trigo y así mejorar la calidad nutrimental del producto, al emplear estas dos harinas.

Tabla 16. Contenido de aminoácidos esenciales para las harinas (g/100 g proteína)

AMINOACIDOS	S.TRIGO*	H.AJONJOLÍ	PATRÓN GENERAL**
Fenilalanina	4.84 ^{a†}	5.22 ^b	6.3 ^c
Isoleucina	3.84 ^a	4.55 ^b	2.8 ^c
Leucina	6.81 ^a	7.94 ^b	6.6 ^a
Lisina	1.90 ^a	3.08 ^b	5.8 ^c
Metionina	1.55 ^a	3.66 ^b	2.5 ^c
Treonina	2.63 ^a	3.43 ^b	3.4 ^b
Triptófano	1.26 ^a	0.414 ^b	1.1 ^c
Valina	4.24 ^a	5.22 ^b	3.5 ^c

[†]Letras distintas en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$).

*Fuente: Dietas.net, 2007.

**Fuente: FAO/WHO/ONU, 1985.

4.2 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS A LAS MEZCLAS DE HARINAS.

Se propusieron diferentes formulaciones para elaborar la pasta utilizando sémola de trigo (ST) y harina de ajonjolí (HA) y en algunos casos gluten vital (GL) y harina de amaranto (HAM) para mejorar la textura y el sabor respectivamente (Tabla 17). Se evaluó la calidad de las mezclas de harinas por pruebas reológicas, mediante el farinógrafo Brabender. Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados obtenidos del farinograma a las mezclas de harinas.

Formulación (%)	Consistencia Máxima (UF)	Tiempo de desarrollo (min)	Estabilidad (min)	Índice de tolerancia (UF)	Tiempo de ruptura (min)	% de H ₂ O Absorción
ST/100	486 ^{a†}	7.8 ^a	11.0 ^a	15 ^a	15.0 ^a	63.7 ^a
HA/ST 80/20	493 ^a	13.8 ^b	15.1 ^b	16 ^a	16.7 ^a	69.5 ^a
HA/ST/GL 70/15/15	332 ^b	15.0 ^b	4.8 ^c	0 ^b	15.0 ^a	52.3 ^b
HA/ST/GL 60/20/20	281 ^c	7.2 ^a	12.5 ^a	7 ^c	15 ^a	39.5 ^c
HA/ST/GL 50/ 40/10	559 ^a	15 ^b	8.1 ^d	0 ^b	15 ^a	62.4 ^a
HA/ST/GL/HAM 60/15/15/10	429 ^a	7.5 ^a	9.9 ^a	13 ^a	15 ^a	66.4 ^a

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

HA: Harina de ajonjolí; ST: Sémola de trigo; GL: Gluten; HAM: Harina de amaranto.

Los resultados mostraron que, la formulación 60%HA-15%ST-15%GL-10%HAM fue la única, de todas las formulaciones estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) a la control de 100% sémola de trigo (ST), en todos los parámetros evaluados. Esto nos sugiere que con esta mezcla se podría elaborar una pasta con buenas características culinarias. El resto de las formulaciones presentaron un tiempo de desarrollo inadecuado y una consistencia de la masa por arriba o demasiado abajo del valor óptimo para alcanzar una consistencia de 500 UF, como es el caso de 80%HA-20%ST, 70%HA-15%ST-15%GL, 50%HA-40%ST-10%GL y para el caso de la formulación 60%HA-20%ST-20%GL a pesar de presentar un tiempo de desarrollo similar al control, el valor de consistencia de la masa, índice de tolerancia y absorción de agua fueron muy inferiores al control.

Sin embargo, aunque se sugirió que la mejor formulación sería la que contenía 60%HA-15%ST-15%GL-10%HAM, no se descartó ninguna para elaborar la pasta tipo tallarín, debido a que se deseaba conocer si con dichas formulaciones de las mezclas de harinas era o no factible la elaboración de las pastas, además de saber si los resultados obtenidos en las pruebas reológicas coincidían con los resultados de calidad culinaria, porque no necesariamente las pruebas de éstas coinciden, sobre todo las que tienen características reológicas similares.

4.3 PARÁMETROS DE CALIDAD CULINARIA DE LAS PASTAS ELABORADAS CON LAS DIFERENTES FORMULACIONES.

Se elaboraron pastas tipo tallarín, para evaluar la calidad culinaria a las formulaciones propuestas (Tabla 18). La pasta elaborada con 100% sémola de trigo (ST) nuevamente fue el control, como lo fue en la prueba anterior y en todas las pruebas posteriores.

El control fue una pasta elaborada en el laboratorio pero que tiene la calidad culinaria de las pastas comerciales, debido a que como se establece en la norma (NMX-F-023-S-1980) mencionada anteriormente, una pasta para sopa es la elaborada a partir de sémola de trigo. Partiendo de esto se evaluó su calidad culinaria para tener una referencia con respecto a los parámetros evaluados en las demás formulaciones.

Con la formulación 80%HA-20%ST se obtuvo una masa muy pegajosa y no se pudo realizar el laminado, por lo tanto, se descartó su uso para la elaboración de la pasta. Esto probablemente sucedió, porque la tenacidad de las harinas se debe a la presencia del gluten y como el ajonjolí no lo tiene y esta formulación tiene un alto contenido de esta harina, la masa fue débil y pegajosa, y no desarrolló una estructura adecuada que se colapsó al amasarse (Badui, 2006). Con las otras formulaciones sí se pudo elaborar la pasta. Al determinar sus parámetros de calidad, se encontró que en algunos casos fueron estadísticamente iguales al control ($P \leq 0.05$). La formulación 60%HA-10%HAM-15%ST-15%GL tuvo los valores más altos de grado de absorción e incremento de volumen, que son los parámetros más importantes, porque de ellos dependerá la apariencia final de la pasta hacia el consumidor (Cheftel, 1999); además tuvo un porcentaje de sedimentación bajo lo que indica que la pérdida de almidón por la cocción es mínima; estos tres valores fueron estadísticamente iguales al control ($P \leq 0.05$). Estos resultados, principalmente el grado de absorción e incremento de volumen, permiten decir que es una pasta con buena calidad culinaria.

Tabla 18. Prueba de calidad culinaria a las pastas.

Formulación (%)	Tiempo de cocción (min)	Porcentaje de sedimentación (ml)	Índice de tolerancia al cocimiento (min)	Grado de absorción (%)	Incremento de volumen (ml)
ST/100	20 ^{a†}	<5 ^a	10 ^a	268.75 ^a	300 ^a
HA/ST/GL 70/15/15	15 ^b	<5 ^a	2 ^b	205.37 ^b	275 ^a
HA/ST/GL 60/20/20	20 ^a	0 ^b	5 ^c	212 ^b	200 ^b
HA/ST/GL 50/ 40/10	18 ^a	5 ^a	12 ^d	229 ^{bc}	300 ^a
HA/ST/GL/HAM 60/15/15/10	14 ^b	5 ^a	1 ^b	256.68 ^{ac}	277 ^a

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

HA: Harina de ajonjolí; ST: Sémola de trigo; GL: Gluten; HAM: Harina de amaranto.

Por otra parte, las formulaciones 60%HA-20%ST-20%GL, 50%HA-40%ST-10%GL presentaron un grado de absorción y un incremento de volumen menores que los del control, lo cual, afecta la textura de la pasta, pues se sabe que una buena pasta absorbe por lo menos el doble de su peso en agua durante la cocción y se hinchan de tres a cuatro veces su volumen original o al menos debe hincharse al doble de su volumen (Cheftel, 1999). Mientras que la formulación 70%HA-15%ST-15%GL fue la que tuvo menor grado de absorción de todas las pastas, sin embargo tuvo buenas características de textura y un mayor porcentaje de harina de ajonjolí, que era lo que se quería para mejorar la calidad nutrimental de la pasta. Sin embargo el problema de esta pasta fue que el contenido de harina de ajonjolí, le generaba un sabor amargo provocando que el consumidor la rechazara, como se pudo observar en los resultados de una prueba sensorial de nivel de agrado que se realizó a 100 jueces no entrenados, en donde se obtuvo un porcentaje de aceptación del 42% y una calificación promedio de 5.31 (ver Anexo 2), por estas razones se descartó esta formulación.

Por lo tanto y con base en los resultados obtenidos en este apartado, junto a las pruebas farinográficas previas en las que esta formulación fue la más parecida al control, se seleccionó a la formulación 60%HA-15%ST-15%GL-10%HAM como la mejor para elaborar la pasta.

4.4 CALIDAD NUTRIMENTAL DE LA PASTA ELABORADA CON LA MEJOR FORMULACIÓN

A la pasta elaborada con la mejor formulación seleccionada, se le evaluó su calidad nutrimental mediante un análisis químico proximal (AQP), su perfil de aminoácidos y la relación de eficiencia proteica (PER), para compararla con la pasta control, elaborada con sémola de trigo.

El AQP mostró (Tabla 19), que la pasta seleccionada tuvo aproximadamente cuatro veces más proteína que la control, además de mayor contenido de minerales (seis veces), entre los que se encuentra el calcio de fácil asimilación por el organismo (Palmetti, 2009; Mataix y Carazo, 2002). Tuvo 5.5 veces más fibra, la cual proporciona un efecto protector de la flora intestinal, por su suave acción laxante; aumenta el volumen del alimento ingerido lo que provoca saciedad, lo que ayuda en prevención de la obesidad; absorbe gradualmente la glucosa desde el intestino ayudando a regular la glucemia y la secreción de insulina; acelera el tránsito intestinal previniendo el cáncer de colon; absorbe el colesterol y los ácidos biliares disminuyendo el colesterol plasmático; produce la fermentación de ácidos grasos volátiles aportando energía y disminuye los niveles de colesterol en la sangre (Mataix y Carazo, 2002; Palmetti, 2009). También tuvo seis veces más de grasa, lo que favorece el consumo de ácidos grasos insaturados como es el oleico y el linoleico presentes en el ajonjolí (Mataix y Carazo, 2002), que son necesarios para la formación de las células del organismo y para producir sustancias semejantes a las hormonas llamadas eicosanoides, que ayudan a la prevención de la inflamación y a controlar el flujo sanguíneo; además contribuyen a disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y accidentes cerebro-vasculares (Ang, 1996). Por último, tuvo un bajo contenido de carbohidratos lo cual ayuda a disminuir el valor calórico de este producto y su índice glicémico (Palmetti, 2009).

Tabla 19. Análisis químico proximal de las pastas control y la formulación seleccionada

PASTA	% HUMEDAD	% GRASA	% FIBRA CRUDA	% PROTEÍNA	% CENIZAS	% CHO'S
Control 100-ST	7.39±0.01	1.18±0.0009	1.52±0.06	10.43±0.90	0.77±0.09	78.71
HA-ST-GL-HAM 60-15-15-10	6.56±0.03	6.81±0.18	8.36±0.20	42.70±0.7**	5.1±0.01	30.47

CHO'S: Carbohidratos; HA: Harina de Ajonjolí; ST: Sémola de Trigo; GL: Gluten; HAM: Harina de Amaranto.

*Proteína= Nx5.83; **Proteína= Nx6.25.

Por otra parte, es importante destacar que la pasta elaborada con ajonjolí, no sólo tuvo un alto contenido de proteína sino que, al analizar el contenido de aminoácidos esenciales, se encontró que esta pasta tuvo mayor cantidad de aminoácidos esenciales que el control y en la mayoría de los casos está por arriba del consumo diario recomendado por la FAO (Tabla 20). Esto es importante porque, la calidad de una proteína depende de la proporción de aminoácidos esenciales que contiene en relación con los requerimientos diarios para humanos (FAO/WHO/ONU, 1985) (Tabla 20). Aunque también es importante la biodisponibilidad de los mismos, término que se refiere a la capacidad para incorporar los aminoácidos de la dieta a las estructuras corporales y que puede verse afectada tanto por una mala digestión como por una absorción incompleta (Badui, 2006).

Tabla 20. Contenido de aminoácidos esenciales comparativo de las pastas (g/100 g proteína)

AMINOÁCIDOS	PASTA TRIGO*	PASTA AJONJOLÍ	PATRÓN GENERAL**
Fenilalanina	4.84 ^{a†}	5.20 ^b	6.3 ^c
Isoleucina	3.84 ^a	4.67 ^b	2.8 ^c
Leucina	6.81 ^a	7.65 ^b	6.6 ^a
Lisina	1.90 ^a	2.20 ^b	5.8 ^c
Metionina	1.54 ^a	2.83 ^b	2.5 ^c
Treonina	2.62 ^a	3.06 ^b	3.4 ^c
Triptófano	1.26 ^a	1.15 ^b	1.1 ^c
Valina	4.24 ^a	4.99 ^b	3.5 ^c

[†] Letras distintas en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$).

*Fuente: Dietas.net, 2007.

**Fuente: FAO/WHO/ONU, 1985.

Es por eso que, para saber si esta gran cantidad de proteína, con un buen balance de aminoácidos esenciales, que contenía la pasta elaborada con ajonjolí se asimilaría y por lo tanto se usaría para el crecimiento de quien la consumiera, se evaluó su índice de eficiencia proteica (PER por sus siglas en inglés) (Granito, 2003; Walter *et al.*, 2003).

Los resultados mostraron que (Tabla 21), el valor PER de la pasta con ajonjolí y amaranto fue del doble que el de una pasta elaborada con sémola de trigo y su digestibilidad aparente fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$). Estos resultados indican que la proteína de las pastas evaluadas tuvieron una absorción similar (digestibilidad), pero la proteína de la pasta con ajonjolí fue usada para crecer, más que la proteína contenida en la pasta de sémola de trigo (Granito, 2003).

Tabla 21. PER (relación de eficiencia proteica) comparativo de las pastas

Pasta	PER (%)	Digestibilidad Aparente (%)
Trigo	0.39 ^{a†}	98 ^a
HA-ST-GL-HAM 60-15-15-10	0.98 ^b	95 ^a

*Fuente: Granito *et al.*, 2003.

†Letras distintas en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Por lo tanto, los resultados de la evaluación de la calidad nutrimental de la pasta de ajonjolí nos indican que, el consumo de este alimento aumentará la ingesta de proteínas de mejor calidad, porque proporciona un balance de aminoácidos esenciales que cumple con los requerimientos recomendados para una óptima nutrición humana, de igual forma por el contenido de ácidos grasos esenciales que proporciona esta pasta, además de su alto contenido de fibra y minerales, recordando los beneficios que estos aportan al organismo como ya se mencionaron anteriormente, así también los resultados del PER nos indican que la proteína tiene un alto valor biológico. Por lo tanto, esta pasta podrá ayudar a combatir el nivel de malnutrición que existe en México (70% en obesidad y el 30% desnutrición extrema) (Guzmán, 2010; Rodríguez, 2003), debido a que aportará al organismo, energía, alto contenido en calcio, y los aminoácidos necesarios para la síntesis del tipo de proteína que se necesite, ya sean enzimas, hormonas, o proteínas musculares y tisulares (Fisher, 1990).

4.5 EVALUACIÓN SENSORIAL.

Por último, se realizó una evaluación sensorial de nivel de agrado, mediante una escala hédonica (ver Anexo 1), la cual se convierte en una escala numérica transformando a centímetros la distancia entre los dos extremos de la línea (10 cm), y midiendo el punto de respuesta indicado por el consumidor; es por esto que el valor obtenido en centímetros de dicha respuesta se iba colocando en una tabla sucesivamente, de acuerdo a la respuesta dada por cada juez-consumidor (ver Anexos 2 y 3).

La pasta seleccionada, con la formulación 60%HA-15%ST-15%GL-10%HAM fue evaluada por 100 jueces no entrenados, y tuvo un porcentaje de aceptación de 85%, otorgando una calificación promedio de 7.34 en una escala de 0 a 10 (ver Anexo 3).

Lo que nos indica que, esta pasta podría tener buena aceptación por parte del consumidor a un nivel de distribución comercial y por lo tanto, podría resultar un alimento adecuado para ayudar a contrarrestar los niveles de malnutrición en nuestro país.

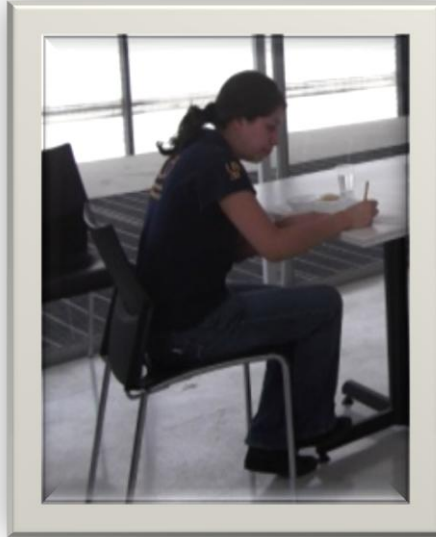


Figura 11. Evaluación sensorial de nivel de agrado

5. CONCLUSIONES

- ❖ Se demostró que la harina de ajonjolí usada en este trabajo tiene mejor calidad nutrimental por su contenido de aminoácidos que la sémola de trigo y por lo tanto, podría usarse como complemento para la elaboración de una pasta con mejor calidad nutrimental.

- ❖ La mejor formulación, de todas las evaluadas, fue la que contenía 60% harina de ajonjolí - 15% sémola de trigo - 15% gluten vital - 10% harina de amaranto, esto se determinó con base en los resultados obtenidos en las pruebas farinográficas, y de calidad culinaria de las pastas.

- ❖ Se logró obtener una pasta con mayor calidad nutrimental al complementarla con harina de ajonjolí porque su contenido de nutrientes como proteína, grasa, minerales y fibra cruda aumentó considerablemente en relación con la pasta elaborada sólo con sémola de trigo; además su proteína fue de alta calidad biológica porque tuvo un mayor contenido de aminoácidos esenciales, un índice de eficiencia proteica del doble y una muy buena digestibilidad debido a que la proteína consumida fue aprovechable por el organismo; por lo tanto, se puede decir que esta pasta con ajonjolí podría ayudar a combatir el nivel de malnutrición que existe en México (70% en obesidad y 30% desnutrición extrema), ya que aunque su valor calórico (353 kcal) es similar a una pasta tradicional de sémola de trigo (360 kcal), el alto contenido en minerales, fibra y aminoácidos esenciales de la pasta de ajonjolí, permitiría una mejor nutrición.

- ❖ Finalmente, la pasta seleccionada se evaluó sensorialmente mediante una prueba de nivel de agrado siendo aceptada por un 85% de jueces afectivos, los cuales le otorgaron una calificación promedio de 7.34 en una escala del 1 al 10, por lo que se puede decir que este producto podría ser aceptado por la población en general si se comercializara.

6. RECOMENDACIONES

Para completar la información nutrimental de la pasta elaborada con ajonjolí se sugiere realizar la determinación de su perfil de ácidos grasos, así como la cuantificación de minerales especialmente calcio, para saber el contenido de estos compuestos en el producto final.

Por otra parte, se recomienda realizar un estudio de factibilidad financiera de esta pasta para poder explorar la posibilidad de producirla a nivel industrial y/o proponer su elaboración a los productores de ajonjolí.

7. REFERENCIAS

- * Ang, G. (1996). Alimentos que curan Alimentos que dañan. Reader's Digest. México. pp. 184-185, 337, 384
- * A.O.A.C. (2000). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunnif, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- * A.O.A.C. (2006). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Method 960.48. Cunnif, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- * Araya, H., Park, N., Vera, G., y Alviña, M., (2003). Digestion rate of legume carbohydrates and glycemic index of legume-based meals. Int. J. Food Sci. Nutr. 54:119-126.
- * Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Pearson. México. pp. 205-208
- * Barreiro, M. (1991). Abriendo surcos. Claridades Agropecuarias. pp. 18-23
- * Belitz H.D., y Grosch W. (1999). Química de los Alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
- * Bustos V. Z., Gutiérrez, R., y Acosta, R. K., (2007). Evaluación de la Calidad Culinaria durante su Cocimiento de una Pasta Elaborada a partir de Sémola de Cebada y Trigo. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Pachuca, Hidalgo, México. pp.3-6
- * Cabrera, A. (2007). Desarrollo de una formulación de pasta para sopa tipo tallarin a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. FES-Cuautitlán, UNAM.
- * Cheftel, J. (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Acribia. España.
- * CIAD (2011). Determinación de aminoácidos en productos a base de ajonjolí./CIAD/Tortoleado O. Coordinación de nutrición. Fecha de consulta: agosto de 2011. Disponible en: <http://www.ciad.mx>
- * COVENIN. (1979). Alimentos para animales. Harina de ajonjolí. Norma Venezolana 1417.
- * Del Bo, L. (1976). Manual del cultivador moderno. El forraje, la siega, los cereales, las plantas industriales, las plantas textiles, las plantas oleíferas. Vecchi S.A. España.
- * Dendy, D. (2001). Cereals and Cereal Products Chemist and Technology. An Aspen Publication. USA.
- * Dietas.net (2007). Tabla de composición nutricional de los alimentos. Fecha de consulta: agosto de 2011. Disponible en: <http://www.dietas.net/tablas-y-calculadoras/tabla-de-composicion-nutricional-de-los-alimentos/cereales/pastas/pasta.html>
- * DIPASA. (2011). Worldwide export of superior sesame seed. Fecha de consulta: noviembre 2011. Disponible en: <http://www.dipasa.com/>
- * Duarte, C. (2008). Análisis de la producción de sésamo. Agencia Financiera de Desarrollo. Fecha de consulta: noviembre 2011. Disponible en: <http://www.slideshare.net/guestf886d8/produccion-de-ssamo>

- * Estrada, A., Pérez, F., Velásquez, E., Ramos, E., y Terrazas, L.,(2000). Efecto de la sustitución de pasta de soya por pasta de ajonjolí en dietas integrales sobre la ganancia de peso en ovinos lactantes. XXXVI Reunión Anual. Asociación Mexicana de Producción Animal. Simposio Internacional de Producción Animal. Culiacán, Sinaloa, México.
- * Falasca S., Anschau, A., y Galvani, G., (2010). Las potenciales áreas productivas de sésamo (*Sesamo indicum* L.) en Argentina materia prima para biodisel. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 14 .pp. 1-3
- * FAO/WHO/ONU (1985). Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/ONU Expert Consultation. World Health Organization Technical Report Series 724. WHO, pp. 121-123. Génova, Suiza,
- * Financiera Rural. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial.(2010). Fecha de consulta: mayo de 2011. Disponible en: http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Ajonjol%C3%AD_Mayo-2010.pdf.
- * Fisher, P. (1990). Valor nutritivo de los alimentos. Limusa. México.
- * Guzmán A. F. (2010). Un problema gordo: la obesidad en México. El Universal. Fecha de consulta: noviembre de 2011. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/cultura/63568.html>
- * Granito, M., Torres, A., y Guerra, M., (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*. Núm. 007. Vol. 28. pp 372-379.
- * Hosoney, R. C. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Acribia. España.
- * INCAP (1996). Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. Menchú, MT y Méndez, H. (eds.). Guatemala:INCAP/OPS.
- * Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (2007). Encuesta Industrial Mensual. Fecha de consulta: octubre 2011. Disponible en: <http://dgenesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdientsi.exe/Consultar>
- * Jenkis, D.J.A., Jenkis, A.L., Wolever, T.M.S., Collier, G.R., Rao, A.V., y Thompson, L.U., (1987). Starchy foods and fiber: reduced rate of digestion and improved carbohydrate metabolism. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*. 22: 131-141.
- * Kent, N.L. (1987). Tecnología de los cereales. Introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura. Acribia. España.
- * Kill, R. y Turnbull, K. (2004). Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Acribia S.A. Zaragoza. España.
- * Loarca, P. (2005). Elaboración de mezclas de malanga-ajonjolí para la producción de alimentos listos para servir. Tesis de Licenciatura. Instituto de investigación y desarrollo de suroccidente Mazatenango, Suchitepéquez. Guatemala
- * Mataix, J. y Carazo, E. (2002). Nutrición para Educadores. Ed. Diaz de Santos. España.

- * Norma Oficial Mexicana. Pastas de Harina de Trigo y/o Semolina para sopa y sus variedades. NMX-F-023-S-1980
- * Palmetti, N. (2009). Sésamo. Tesoro culinario. Fecha de consulta: octubre 2011. Disponible en: http://www.prama.com.ar/alimentos_saludables/sesamo.htm
- * Paredes, L.O., Barba de la Rosa, A.P., Hernández, D., y Carabez, A., (1997). Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washinton, D.C.
- * Pedrero F. D. L. y Pangbord R. M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos, Métodos Analíticos. Alhambra Mexicana, S.A. de C.V. México.
- * Porras, J. (2010). Caracterización del proceso de obtención de aislados de proteína de *Lupinus silvestre* del estado de Hidalgo. Tesis de Maestría. UPIBI-IPN
- * Primo, E. (1987). Química Agrícola III. Alimentos. Alhambra. Madrid, España.
- * Rama Rao, M.V; Tara, M.R.; Krishnan, C.K. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology.*, (Mysore), 11: 213 – 216.
- * Robles, R. (1990). Producción de oleaginosas y textiles. Limusa. México.
- * Rodríguez, R. (2003). Hay en México, desnutrición extrema. El Universal. Fecha de consulta: noviembre de 2011. Disponible en: http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=15433&tabla=primera
- * Root, W. (1983). Guía practica ilustrada. Hierbas y Especies. Blume. Barcelona.
- * Sánchez, A. (1992). Manuales para educación agropecuarias. Trillas. México.
- * Sánchez, R. (1990). Producción de oleaginosas y Textiles. Limusa. México.
- * Serna, S. (1996). Química y almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México.
- * SIAP y SAGARPA (2011). Fecha de consulta: abril de 2011. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/Agricola_siap/AvanceNacionalCultivo.do;jsessionid=F0E7146E4133C05FB5684FBEA2CF9707
- * Soldano, O. (1978). El trigo. Ed. Albatros, Argentina.
- * Vázquez-Ortiz, F.A.; Caire, G.; Higuera-Ciapara, I. and Hernández, G. (1995). High Performance Liquid Chromatographic Determination of Free Amino Acids in Shrimp. *Journal of Liquid Chromatography.* 18(19):2059-2068.
- * Walter, S.S., Arbaiza, F.T., Carcelén, F., y Lucas, A.O., (2003). Evaluación biológica en ratas de laboratorio (*Rattus norvegicus*) de fuentes proteica usadas en alimentos comerciales para perros. *Investigaciones Veterinarias del Perú.* Vol. 14. pp. 18-23.

8. ANEXOS

Anexo 1: Cuestionario presentado en la evaluación sensorial de nivel de agrado.

SOPA		
Edad: _____	Sexo: Hombre Mujer	Fecha: _____
INSTRUCCIONES: Pruebe la sopa y sobre la línea indique con una X su nivel de agrado.		
No me -5	Me es indiferente 0	Me gusta +5
Explique: ¿Por qué tomó esa decisión?		

Gracias.		

Anexo 2: Hoja de vaciado de datos

Prueba de nivel de agrado para la pasta con la formulación 70% harina ajonjolí, 15% sémola de trigo y 15% gluten.

Escala de calificación: -5: No me gusta a +5: Me gusta
Para traducir de 0 a 10 cm

JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN
1	10	30	6.8	59	5	88	1.7
2	10	31	6.8	60	5	89	1.6
3	10	32	6.7	61	5	90	1.5
4	10	33	6.7	62	5	91	0.3
5	10	34	6.6	63	5	92	0.25
6	9.8	35	6.5	64	5	93	0.2
7	9.7	36	6.3	65	5	94	0.2
8	9.2	37	6.3	66	5	95	0.2
9	8.8	38	6.2	67	5	96	0.1
10	8.7	39	6.2	68	5	97	0.1
11	8.7	40	6.1	69	5	98	0.1
12	8.1	41	6	70	4.6	99	0
13	8.1	42	6	71	4.6	100	0
14	8.1	43	5.9	72	4.5	.....	.....
15	8	44	5.7	73	4.4	.....	.....
16	8	45	5.7	74	4	.....	.....
17	7.8	46	5.7	75	3.7	.....	.....
18	7.8	47	5.7	76	3.7	.....	.....
19	7.7	48	5.7	77	3.5	.....	.....
20	7.7	49	5.6	78	3.3	.....	.....
21	7.6	50	5.5	79	3.3	.....	.....
22	7.6	51	5.2	80	3.1	.....	.....
23	7.5	52	5.1	81	3	.....	.....
24	7.4	53	5.1	82	3	.....	.....
25	7.2	54	5.1	83	2.6	.....	.....
26	7	55	5.1	84	2.4	.....	.....
27	6.9	56	5.1	85	2.4	.....	.....
28	6.9	57	5.1	86	2	.....	.....
29	6.9	58	5	87	1.7	.....	.....

Sumatoria: 531.75

Promedio 5.31

% de Aceptación: 42

Anexo 3: Hoja de vaciado de datos

Prueba de nivel de agrado para la pasta con la formulación 60% harina ajonjolí, 15% sémola de trigo, 15% gluten y 10% harina de amaranto

Escala de calificación: -5: No me gusta a +5: Me gusta

Para traducir de 0 a 10 cm

JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN
1	10	30	8.3	59	6.7	88	5.5
2	10	31	8.3	60	6.7	89	5.3
3	10	32	8.3	61	6.7	90	5.1
4	10	33	8.3	62	6.7	91	5
5	9.9	34	8.2	63	6.6	92	5
6	9.9	35	8.1	64	6.6	93	5
7	9.9	36	8.1	65	6.6	94	5
8	9.8	37	8	66	6.6	95	4.9
9	9.6	38	8	67	6.5	96	4.8
10	9.6	39	8	68	6.5	97	4.5
11	9.4	40	7.9	69	6.5	98	4.3
12	9.4	41	7.8	70	6.5	99	4.2
13	9.3	42	7.8	71	6.4	100	4
14	9.3	43	7.7	72	6.4	.....	.....
15	9.2	44	7.6	73	6.3	.....	.....
16	9.1	45	7.6	74	6.3	.....	.....
17	9	46	7.5	75	6.3	.....	.....
18	9	47	7.4	76	6.3	.....	.....
19	8.9	48	7.2	77	6.3	.....	.....
20	8.9	49	7.2	78	6.3	.....	.....
21	8.9	50	7.2	79	6.3	.....	.....
22	8.9	51	6.9	80	6.2	.....	.....
23	8.8	52	6.9	81	6.2	.....	.....
24	8.8	53	6.9	82	6.2	.....	.....
25	8.7	54	6.9	83	6	.....	.....
26	8.5	55	6.9	84	6	.....	.....
27	8.5	56	6.8	85	6	.....	.....
28	8.5	57	6.7	86	5.7	.....	.....
29	8.5	58	6.7	87	5.7	.....	.....

Sumatoria: 734.2

Promedio 7.34

% de Aceptación: 85