



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**DESARROLLO DE UNA FORMULACIÓN DE PASTA PARA SOPA TIPO  
TALLARÍN A BASE DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*)  
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:**

**CLAUDIA ALEJANDRA CABRERA ARRIAGA.**

**ASESOR: M. EN C. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE.**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

"Desarrollo de una formulación de pasta para sopa tipo  
tallarín a base de amaranto (Amaranthus hypochondriacus)  
con alta calidad nutrimental"

que presenta la pasante: Claudia Alejandra Cabrera Arriaga  
con número de cuenta: 09755397-1 para obtener el título de :  
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán izcalli, Méx. a 21 de febrero de 2007

PRESIDENTE	<u>IA. Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	
VOCAL	<u>IBQ. Saturnino Mava Ramirez</u>	
SECRETARIO	<u>MC. Enrique Martínez Manrique</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MC. Julieta González Sánchez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MC. María del Carmen Valderrama Bravo</u>	

*Los libros son las  
alfombras mágicas  
de la imaginación.*

*Jorge Luis Borges.*

## ***Agradecimientos y Dedicatorias.***

*A DIOS.*

*Por que cada día permites experimentar cosas nuevas, arriesgándome a realizarlas teniendo la confianza que tú estas siempre conmigo. Por permitirme concluir mis estudios profesionales.*

*A mis PADRES.*

*Por que gracias a su esfuerzo lograron formar una profesionista y ver en mí su sueño anhelado hecho realidad; además de darme su cariño, comprensión y confianza. Por que siempre hemos compartido momentos felices y momentos difíciles dando siempre lo mejor de nosotros. Y se que no existen palabras para agradecerles todo lo que han hecho en mí. LOS AMO.*

*A ROCIO Y BETO.*

*Por su cariño y apoyo incondicional. Por que aunque tengamos puntos de vista diferentes siempre estamos unidos, nunca cambien. Al nuevo integrante de la familia: Raúl. Gracias...los quiero mucho a los tres.*

*A las Familias CABRERA Y ARRIAGA.*

*Por que siempre han estado al pendiente de mí. Y siempre hemos compartido y seguiremos compartiendo muchos momentos padres y aún en momentos difíciles siempre hemos estado unidos como la gran familia que somos.*

*A M en C. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE.*

*Por que aún sin conocerme, me permitió formar parte de su equipo de trabajo. Por su apoyo incondicional y permitirme estar en constante aprendizaje.*

*A los Ing. MARICELA HERNÁNDEZ, CESAR F. ESPINOSA Y HUGO JUÁREZ.*

*Por su apoyo y amistad que me han brindado durante todo este tiempo. Por que son parte importante en el desarrollo de este proyecto y siempre me regalaron una sonrisa en buenos y malos momentos.*

*A todos MIS AMIGOS que me permitieron compartir momentos especiales durante la carrera, en especial a: Verónica Jiménez V., Eva Hernández R., Atenea Manrique H., Luis D. Terrón R., Ernesto Pérez N., Joel Arcuri, Paola Espinosa, Benito Cruz D., Fernando Méndez R., Víctor M. Almansa M., Fabián Garduño P., J Juan Velásquez, Nayamid Pérez., Gabriela Órnelas, José Sánchez M., Ernesto Armenta y a todos aquellos que me regalaron un minuto de su tiempo. Gracias por su amistad.*

*A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y Semillas de FES-C, que de alguna manera contribuyeron en la realización de este proyecto de tesis, en especial a: Emilio Sánchez C., Erendira Martínez, Viridiana Moreno Ramos., Rebeca Ramos, D. Karina Jiménez, Selina López, J Luis Cadena, Ricardo Caballero, Gualberto Beltrán y Oscar Moreno. Al Ing. Gloria Romo por su apoyo en la parte de Calidad de las harinas. A todos, Mil Gracias.*

*A todos los que integran la Unidad de Investigación de Granos y Semillas de FES-C, principalmente a MM Gabriela Sánchez H., MC Martha Y. Quezada, MM Josefina Moreno L., MC Ma. Cristina Pérez R., Dr. Sergio Jiménez A y Dra. Andrea Trejo por todo el apoyo que me brindaron y permitirme el uso de su Laboratorio para el desarrollo de la tesis. A mi querida Laura Archeita Trujillo por toda la ayuda y tiempo dedicado.*

*A Empresa Molinera de México, S. A, por permitirnos el uso de sus instalaciones y equipo para la determinación de Calidad de las Harinas para la elaboración de las pastas. En especial al Ing. Olivia González responsable del Laboratorio de Control de Calidad.*

*Al M en C Agustín Reyó profesor de Facultad de Química por el apoyo técnico y uso del equipo para la determinación de Proteína.*

*A los Sinodales por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo.*

---

---

## ÍNDICE.

---

	<b>Página.</b>
<b>Índice de Figuras.</b>	iv.
<b>Índice de Tablas.</b>	v.
<b>Resumen.</b>	1
<b>Introducción.</b>	2
<b>1. Antecedentes.</b>	
1.1 Amaranto.	
1.1.1 Antecedentes Históricos.	4
1.1.2 Origen.	5
1.1.3 Clasificación Botánica.	5
1.1.4 Descripción de la Planta de Amaranto.	6
1.1.5 Características de Cultivo.	6
1.1.6 Producción Comercial del Amaranto.	8
1.1.7 Composición Química y Valor Nutritivo.	8
1.1.8 Transformación del Amaranto.	16
1.1.8.1 A Nivel Artesanal.	16
1.1.8.2 A Nivel de Investigación.	17
1.2 Trigo.	
1.2.1 Antecedentes Históricos.	19
1.2.2 Origen.	19
1.2.3 Clasificación Botánica.	20
1.2.4 Estructura del Grano de Trigo.	20
1.2.5 Composición Química y Valor Nutritivo.	24
1.2.6 Almidón	25
1.2.7 Gluten	28
1.3 Pastas.	
1.3.1 Definición de Pastas Alimenticias.	29
1.3.2 Clasificación de Pastas.	29
1.3.3 Calidad de las Pastas.	30
1.3.4 Ingredientes para la Elaboración de las Pastas.	31
1.3.5 Producción y Consumo.	34

1.3.6 Proceso de Elaboración.	
1.3.6.1 Pasta Prensada/ Troquelada.	35
1.3.6.2 Pasta vía Extrusión en Frío.	36
<b>2. Justificación.</b>	39
<b>3. Objetivos.</b>	40
<b>4. Materiales y Métodos.</b>	
4.1 Cuadro Metodológico.	41
4.2 Preparación de la Muestra.	42
4.3 Análisis Químico Proximal.	
4.3.1 Determinación de Humedad	42
4.3.2 Determinación de Extracto Etéreo.	42
4.3.3 Determinación de Proteína.	43
4.3.4 Determinación de Cenizas.	43
4.3.5 Determinación de Carbohidratos.	43
4.4 Elaboración de la Pasta para Sopa.	
4.4.1 Método Prensado/ Troquelado.	44
4.5 Parámetros de Calidad Culinaria de la Pasta.	
4.5.1 Tiempo de Cocción.	45
4.5.2 Porcentaje de Sedimentación.	46
4.5.3 Índice de Tolerancia al Cocimiento.	46
4.6 Parámetros de Calidad Física de las Pastas Cocidas.	
4.6.1 Grado de absorción.	47
4.6.2 Incremento del Volumen.	47
4.7 Determinación de Calidad de Textura de la Harina.	48
4.8 Evaluación Sensorial.	50
4.9 Método Estadístico.	51
<b>5. Resultados y Discusión.</b>	
5.1 Pruebas de Calidad Culinaria a Pastas elaboradas con Trigo.	52
5.2 Análisis Químico Proximal de la materia prima.	53
5.3 Prueba de Calidad Culinaria de Pastas elaboradas con Amaranto.	53
5.4 Pruebas de Textura de las diferentes formulaciones de harinas.	55
5.5 Pruebas de Calidad Culinaria de pastas elaboradas con las formulaciones propuestas.	56
5.6 Evaluación Sensorial.	
5.6.1 Prueba de Preferencia.	58
5.6.2 Prueba de Nivel de agrado.	59

---

<b>6. Conclusiones.</b>	61
<b>7. Recomendaciones.</b>	62
<b>8. Anexos.</b>	63
<b>9. Bibliografía.</b>	71

---

---

## INDICE DE FIGURAS

---

	<b>Página.</b>
Figura 1. Planta de Amaranto.	5
Figura 2. Amaranto.	6
Figura 3. Diagrama de sección transversal y longitudinal de semilla de Amaranto.	8
Figura 4. Tortillas de amaranto.	16
Figura 5. Planta de Trigo.	20
Figura 6. Corte longitudinal y transversal de un grano de Trigo.	21
Figura 7. Granos de Trigo.	22
Figura 8. Molécula de Amilosa.	25
Figura 9. Molécula de Amilopectina.	26
Figura 10. Formas de pastas.	30
Figura 11. Equipo de molienda y tamices.	42
Figura 12. Secado de Pastas.	44
Figura 13. Proceso de elaboración de pastas para sopa a base de Trigo-Amaranto-Gluten.	45
Figura 14. Farinógrafo Brabender.	48
Figura 15. Farinograma.	49
Figura 16. Prueba Sensorial de Preferencia.	58
Figura 17. Prueba Sensorial de Nivel de Agrado.	60

---

## ÍNDICE DE TABLAS.

---

	<b>Página.</b>
Tabla 1. Principales características del Cultivo de Amaranto.	7
Tabla 2. Composición química del grano de Amaranto.	9
Tabla 3. Composición promedio aproximada del grano de Amaranto y algunos cereales.	10
Tabla 4. Contenido de proteína de varias especies de Amaranto.	10
Tabla 5. Contenido de aminoácidos de la proteína de diferentes especies de Amaranto y su Calificación Química.	11
Tabla 6. Datos de calidad proteica del Amaranto y otros Alimentos.	12
Tabla 7. Perfil de Aminoácidos del Amaranto y otros granos.	13
Tabla 8. Contenido de Grasa en distintos granos.	14
Tabla 9. Perfil de Ácidos Grasos del Amaranto.	14
Tabla 10. Contenido de Minerales en el Amaranto.	15
Tabla 11. Contenido de Vitaminas en el Amaranto.	15
Tabla 12. Análisis Químico Proximal de la harina integral de Amaranto.	17
Tabla 13. Clasificación de trigos basadas en diferentes características.	23
Tabla 14. Composición Química aproximada del Trigo en base seca.	24
Tabla 15. Composición de amilosa y amilopectina de algunos almidones.	26
Tabla 16. Composición de Aminoácidos de la proteína de Trigo.	27
Tabla 17. Clasificación de los Trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.	28
Tabla 18. Composición Química característica de diferentes harinas para productos elaborados con trigo.	32
Tabla 19. Características del agua para elaborar pastas.	33
Tabla 20. Volumen y valor de producción de pastas alimenticias por año.	34
Tabla 21. Volumen de producción por mes de pastas alimenticias.	35
Tabla 22. Formulaciones de Pastas para sopa a base de harina de Trigo y Amaranto.	44

---

Tabla 23. Pruebas de calidad culinaria realizadas a pastas elaboradas con sémola de diferentes variedades de trigo.	52
Tabla 24. Análisis Químico Proximal de la materia prima utilizada en la experimentación.	53
Tabla 25. Pruebas de Calidad Culinaria realizadas a pastas elaboradas con diferentes tipos de amaranto.	54
Tabla 26. Resultados de pruebas de textura de las diferentes formulaciones de harinas empleadas en la elaboración de pastas.	55
Tabla 27. Pruebas de Calidad Culinaria realizadas a pastas elaboradas con diferentes concentraciones de Amaranto, Gluten aislado de trigo y Trigo.	56
Tabla 28. Evaluación sensorial aplicada a las cinco diferentes formulaciones de amaranto mediante una prueba de preferencia usando el método de ordenamiento por rango.	58
Tabla 29. Evaluación Sensorial aplicada a dos diferentes formulaciones de amaranto mediante una prueba de nivel de agrado.	59

**RESUMEN.**

El amaranto representa un fuerte potencial en la industria de alimentos por su alto contenido de proteína y balance adecuado de aminoácidos esenciales (Mújica *et al.*, 1997); pero no se ha aprovechado para elaborar productos a nivel industrial, pues si bien se producen algunas cosas como: harina para atoles, dulces, galletas, tamales, etc., estas se realizan a nivel artesanal. Las pastas son relativamente económicas y de alto consumo en México y se elaboran a partir de sémola de harina de trigo por su contenido de gluten que le imparte las propiedades funcionales adecuadas, pero la calidad de su proteína es deficiente.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una formulación para la elaboración de una pasta para sopa que tuviera como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto, conservando sus propiedades de calidad culinaria y mejorando su calidad nutrimental.

Para lograrlo, se probaron diferentes variedades de amaranto y trigo para la elaboración de la pasta y las mejores fueron Huixca y DNS respectivamente. Usando la variedad Huixca se probaron formulaciones con diferentes contenidos de amaranto (100, 90, 80, 70 y 50%); adicionadas con gluten aislado de trigo (10%) y el porcentaje restante, en cada caso, de sémola de trigo DNS. Las diferentes formulaciones se evaluaron mediante pruebas de calidad culinaria y los resultados mostraron que las pastas elaboradas con 70 y 80 % de amaranto fueron las mejores y entre ellas no existió diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). Para conocer el comportamiento de las harinas se usó un farinógrafo evaluándose todas las formulaciones y se observó que las harinas con 80% y 70% de amaranto no presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a la harina control. Para apoyar estos resultados, las pastas se sometieron a una evaluación sensorial aplicando una prueba de preferencia y los resultados mostraron que entre las cinco pastas presentadas a los jueces afectivos no existió diferencia estadísticamente significativa entre ellas ( $P \leq 0.05$ ), pero sí una mayor preferencia, en términos cuantitativos, por las pastas de 80% y 70%.

Por último, se realizó una prueba de nivel de agrado a estas dos formulaciones, para determinar cual de ellas sería más aceptada por los consumidores y se encontró que el 73.25% de los jueces aceptó la pasta con 70% de amaranto y el 59.30% de los jueces la de 80% de amaranto, diferencia que es estadísticamente significativa, por lo tanto, se concluyó que la mejor formulación fue la que contenía 70% de amaranto.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha estimado que México y algunas partes del Mundo, han tenido una historia importante de crisis (ambientales, sociales, económicas y políticas) con efectos en la seguridad alimentaria y la nutrición, cambios en los patrones culturales y crisis en el sector agrícola; lo que ha tenido como consecuencia una reducción en el aprovechamiento y consumo de algunos granos y semillas para el hombre.

Dentro de los granos de consumo no tradicional en nuestro país, diversas instituciones han tenido el interés de rescatar del olvido algunas semillas como lo es el Amaranto y reconsiderar su utilización para la alimentación humana a mayor escala. El amaranto es reconocido en 1975 por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, como uno de los alimentos más prometedores del Mundo (Teutonico y Knorr, 1985), pero hasta la actualidad, solo se ha quedado en declaraciones como la anterior y poco se ha trabajado con este grano, sobre todo a nivel de investigación tecnológica, pues en investigación básica si se han realizado avances (Han-Ping y Harold, 2003; Aphalo *et al*, 2004). En investigaciones recientes, botánicos y nutriólogos han estudiado el amaranto y han encontrado una gran cualidad nutritiva, en especial un alto contenido de proteína, calcio, ácido fólico y vitamina C (Mújica *et al*, 1997). Pero no es solo cuestión de cantidad; su proteína es sobresaliente en cuanto a su calidad, destaca por su alto contenido de lisina (aminoácido esencial) comparado con los cereales, lo que permitiría una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de cereales convencionales (maíz, trigo, arroz). [Mújica *et al*, 1997 y [www.gro.itesm.mx/](http://www.gro.itesm.mx/) (1)].

La transformación primaria del grano de amaranto, es el grano reventado del cual se elabora dulce de alegría, pero el amaranto es muy versátil para su transformación e industrialización, puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal; lógicamente con mayores ventajas nutricionales, pero por la ausencia de gluten, tiene ciertas limitantes tecnológicas que pueden eliminarse si se mezcla con otros cereales.

Las pastas forman parte de la alimentación de la población de diferentes clases sociales, principalmente la población de escasos recursos en el país y sobre todo del medio urbano. Las pastas 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. Estos productos son susceptibles de mejorarse sustancialmente en cuanto a su calidad nutrimental, mediante el empleo de materias primas de mayor contenido y calidad de proteínas que el trigo (Necoechea y Camacho, 1983). 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. Es posible elaborar pastas sustituyendo parte de la sémola de trigo por otros productos tales como harina de soya, leche en polvo, suero lácteo, concentrados de proteína de fríjol, harina de algodón, entre otros (Necoechea y Camacho, 1983; Belitz y Grosch, 1997 y NMX-F-023-S-1980).

Por lo tanto, en este trabajo nos hemos planteado como objetivo general desarrollar una formulación para la elaboración de una pasta para sopa que tenga como uno de sus ingredientes principales harina integral de amaranto, conservando sus propiedades de calidad culinaria y mejorando su calidad nutrimental.

Para lo cual, se evaluaron diferentes formulaciones con un mínimo de 50% de harina integral de amaranto, complementadas con sémola y gluten aislado de trigo; y se evaluaron calidad de textura de las mezclas de harinas y calidad culinaria y sensorial de las pastas elaboradas con las diferentes formulaciones propuestas.

Por lo que se consideró que, el poder tener una pasta para sopa a base de amaranto con características de calidad culinaria tan aceptables como una pasta comercial de trigo, pero con mayor aporte nutrimental por su alto contenido de proteína, podría contribuir de manera importante a elevar el nivel nutricio de los consumidores.

## 1. ANTECEDENTES.

### 1.1 AMARANTO.

#### 1.1.1 Antecedentes Históricos.

El amaranto nombre derivado del griego, que significa “inmortal” e “inmarchitable”, es uno de los más antiguos cultivos alimenticios conocidos (Paredes, 2001). Registros históricos revelan que la producción y uso del amaranto, tanto en forma vegetal como grano estuvo en su máximo apogeo durante los períodos Maya y Azteca (Sánchez-Marroquín *et al*, 1986). En México, la historia de este grano es bastante peculiar y aún cuando actualmente su cultivo está algo restringido, en el tiempo de los Aztecas el amaranto era uno de los cultivos más importantes desde el punto de vista de su consumo junto con el maíz y frijol (Irving *et al*, 1981).

Muestras arqueológicas, del grano de amaranto, encontradas en Tehuacan Puebla datan del año 4,000 a.C., e indican que probablemente se originó en América Central y América del Sur. El amaranto era un alimento de primera importancia en la dieta diaria de los aztecas, y producían entre 15 y 20 mil toneladas de este cultivo al año, lo que lo ubicaba en tercer lugar después del maíz y el frijol. (Teutonico y Knorr, 1985; Paredes, 2001).

El amaranto, era principalmente utilizado en ceremonias religiosas, las mujeres molían la semilla y la mezclaban con miel de abeja, miel de maguey o sangre humana y moldeaban la pasta resultante (*zoale*) dando la forma de estatuas de ídolos o dioses, que luego se comían durante las ceremonias. Cuando Hernán Cortés invadió México en 1519 e inicio la conquista del imperio estas ceremonias fueron consideradas paganas a la religión católica y se prohibieron; ordenó que los sembradíos fueran quemados y castigaba a las personas que eran sorprendidas cultivando este grano. Y así, la conquista española acabo con el uso del amaranto como producto básico, eliminando la posibilidad de que se integrara en la alimentación mundial un producto de alto valor nutrimental (Vargas, 2003; Santín *et al*, 1986).

A primera vista, la semilla de amaranto parece ser algo desconocido, pero resulta familiar al saber que de ella se obtienen las tradicionales “alegrías”. El nombre “alegría” se adjudicó en el siglo XVI al dulce que se fabrica con la semilla reventada y luego, por extensión, a la planta entera. Antes de la llegada de los españoles, los indígenas sólo utilizaban el *huahutli* (amaranto reventado). A fray Martín de Valencia (1473-1534) se le ocurrió mezclarlo con miel. Cuentan los relatos de la época que uno por

uno los indígenas fueron probando el dulce resultante y les pareció tan sabroso que empezaron a bailar y cantar de alegría. De ahí -dice la leyenda- surgió el nombre de este dulce. (Santín *et al*, 1986)

### 1.1.2 Origen.

La familia *Amaranthaceae* se compone de 60 géneros y más de 50 especies de *Amaranthus* (Matz, 1991) de las cuales la mayoría son nativas de América y sólo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia. Solo tres especies de amaranto se utilizan actualmente para la producción de grano: *Amaranthus hypochondriacus*, originario de México, *A. cruentus*, originario de Guatemala y el sureste de México y *A. caudatus*, cuyo origen es América del Sur (Mújica *et al*, 1997; Teutonico y Knorr, 1985 y Segura-Nieto y Velásquez-Sánchez, 1992).

Asociadas a éstas, existen tres especies de malezas o arvenses: *A. powelli*, *A. hybridus* y *A. quitensis*; de éstas solo *A. hybridus* se encuentra ampliamente distribuida por todo el mundo. Estudios realizados con la técnica de Amplificación al Azar de Polimorfismo de DNA (RAPD por sus siglas en inglés), sugieren que las especies *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* son genéticamente más cercanas entre sí que comparadas con *A. cruentus*, a pesar de haberse originado en áreas diferentes (Mújica *et al*, 1997).

### 1.1.3 Clasificación Botánica.

Reino: Vegetal

**División: Fanerógama**

Subdivisión: Angiosperma

**Clase: Dicotiledónea**

Subclase: Archyclamidae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceas

**Género: *Amaranthus***

Sección: *Amaranthus*

**Especies: *A. caudatus*, *A. cruentus* y  
*A. hypochondriacus*.**



Figura. 1 Planta de Amaranto.

#### 1.1.4 Descripción de la planta.

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias (Figura.2). El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud. Las hojas son pecioladas, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, de tamaño variable de 6.5-15 cm. La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes.



Figura 2. Amaranto.

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo, las especies silvestres presentan granos de color negro con el epispermo muy duro (Mújica *et al*, 1997; Teutonico y Knorr, 1985 y Nieto, 1990).

#### 1.1.5 Características del Cultivo.

Aparentemente, los amarantos crecen bien en una amplia variedad de suelos, desde los muy ácidos y con alto contenido de aluminio, hasta los alcalinos y salinos.

Las zonas de México donde se está cultivando amaranto tienen características de altitud muy contrastantes, lo mismo se le encuentra a nivel del mar que a 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se sabe que *A. caudatus* se desarrolla solo en altitudes mayores a los 2500 msnm.

Se recomienda un suelo franco arenoso para favorecer el drenaje, ya que el cultivo de amaranto es susceptible a hongos. El Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión del Altiplano, reportó que 32 tipos de amaranto tuvieron buen desarrollo en suelos semiarenosos [[www.gro.itesm.mx/\(2\)](http://www.gro.itesm.mx/(2))]. El amaranto requiere de suelos que drenen bien y prefieren suelos con pH neutros o básicos, pero se han registrado casos que presentan tolerancia a la alcalinidad.

El amaranto se desarrolla bien cuando la temperatura del día es alta o por lo menos de 21 °C pero hay variedades que muestran óptima germinación con temperaturas entre los 16 y los 35°C, la rapidez de la maduración aumenta en el extremo superior de ese rango; *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* toleran temperaturas elevadas y no resisten las heladas, su crecimiento se detiene por completo a unos 8 °C y las plantas se dañan a temperaturas inferiores a 4 °C. El *A. caudatus* siendo nativo de áreas altas de los Andes Peruanos resiste mejor las heladas que las demás especies.

El amaranto por ser un cultivo de ciclo corto, puede variar de 150 a 180 días, dependiendo de la especie y variedad. Es un cultivo de temporal y de riego (Tabla 1). Es tolerante a las sequías, calor y plagas y se adapta fácilmente a nuevas tierras y ambientes (Santín, 1986). Las plantas de amaranto crecen bien en suelos con un contenido de agua entre 11.5% y 13%.

Tabla.1 Principales características de Cultivo de Amarantos

HUMEDAD	11.5 % - 13%
SUELO	FRANCO ARENOSO – DRENADO
pH	NEUTRO
TEMPERATURA	21°C óptima 16- 35 °C germinación 8°C inhibición del crecimiento 4°C daño en la planta
CICLO	150 – 180 días (depende de la variedad y especie)
CULTIVO	TEMPORAL Y RIEGO

Fuente: [www.gro.itesm.mx/\(2\)](http://www.gro.itesm.mx/(2))

### 1.1.6 Producción comercial del amaranto.

Las principales zonas de cultivo en México se encuentran en los estados de Guerrero, México, Michoacán, Morelos, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca. Se siembra predominantemente *A. hypochondriacus* en condiciones de temporal, en áreas pequeñas, con semilla mezclada de variedades diferentes, como se hace con el maíz, a fin de asegurar la cosecha. En Guatemala se siembra principalmente *A. cruentus*, en condiciones similares de cultivo, en los departamentos de Guatemala, Chimaltenango y Alta Verapaz (Mújica *et al*, 1997).

Actualmente la producción comercial del amaranto se concentra principalmente en cuatro estados:

- San Miguel del Milagro, Nativitas, San José Atoyatenco y San Felipe Ixtacuixtla en el Estado de Tlaxcala.
- Cuautla, Huazulco, Amiltzingo, Jantetelco y Amayuca en el Estado de Morelos.
- Tulyehualco, Mixquic, Nativitas, Milpa Alta y Xochimilco en el Distrito Federal.
- Hequechula, Santiago Tetla y Tulcingo del Valle en el Estado de Puebla.

El estado de Oaxaca no figura como región productora puesto que la producción de este cultivo se destina principalmente al autoconsumo, además las comunidades que lo cultivan son escasas.

### 1.1.7 Composición Química y Valor Nutritivo.

En el grano se distinguen cuatro partes importantes (Figura. 3): *epispermo ó pericarpio* que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, *endospermo* que viene a ser la segunda capa, *embrión* formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada *perispermo* rica en almidones (Irving *et al*, 1981).

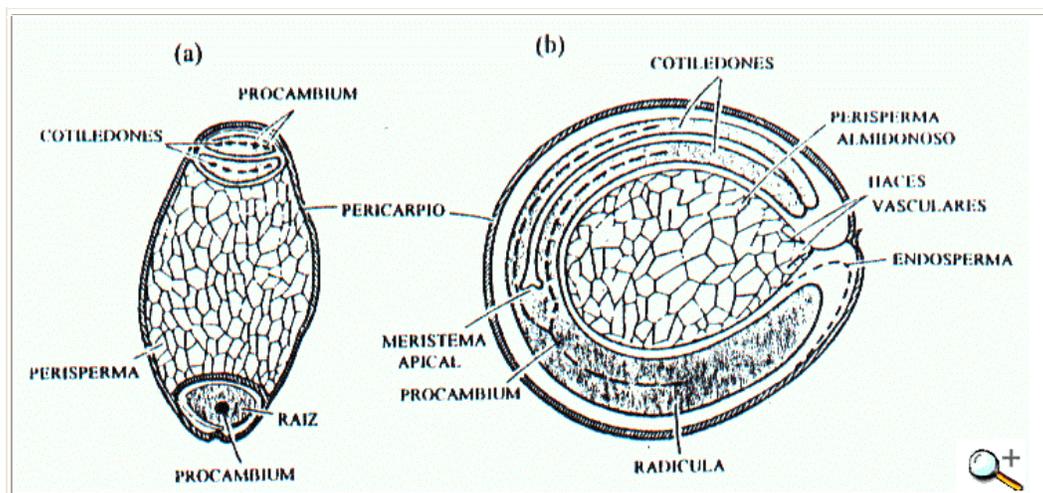


Figura 3. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto

Los botánicos y nutriólogos han estudiado el amaranto, y han encontrado que tiene una gran calidad nutritiva, en especial por su alto contenido de proteínas, calcio, ácido fólico y vitamina C (Tabla 2). Una de sus principales propiedades es que revienta en condiciones muy calientes y se convierte en una palomita cerealera, con alto valor nutritivo, conteniendo de 15 a 18 por ciento de proteína y buena cantidad de lisina y metionina, un alto contenido de fibra, calcio, hierro y vitaminas A y C (Teutonico y Knorr, 1985).

Técnicamente el grano de amaranto es considerado como un *pseudocereal*, ya que tiene características similares a las de los granos de cereales verdaderos que son monocotiledóneas (Becerra, 2000), su sabor es parecido al de ellos y producen grano o semilla del tipo de los cereales, pero el amaranto pertenece a las dicotiledóneas (Santín, *et al*, 1986) por eso, no es considerado como un cereal verdadero. Al igual que éstos, contiene cantidades importantes de almidón componente principal en la semilla del amaranto, pues representa entre 50 y 60% de su peso seco, con la diferencia de que éste se encuentra almacenado en el perispermo y no en el endospermo como en los cereales. El embrión ocupa gran parte del grano, conformando así una buena fuente de lípidos. La proteína del amaranto se encuentra principalmente en el embrión (65%) a diferencia de los cereales como maíz y arroz que presentan el 80% de la proteína en el endospermo (Bressani, 1989).

Tabla 2. Composición química del grano de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca)

Característica	Contenido
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71.8
Lípidos (g)	6.1 – 8.1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3.0 – 3.3
Energía (Kcal.)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1.5

Fuente: Nieto, 1990.

El contenido de proteína del grano de amaranto (Tabla 3) es elevado y algo mayor que el de los cereales (Yáñez *et al.*, 1994).

Tabla 3. Composición promedio aproximado del grano de amaranto y de algunos cereales (g/100 g).

Composición	Amaranto	Trigo	Maíz	Sorgo	Arroz
Humedad	8.0	12.5	13.8	11.0	11.7
Proteína cruda	15.8 <sup>1</sup>	14.0 <sup>2</sup>	10.3 <sup>3</sup>	12.3 <sup>4</sup>	8.5 <sup>3</sup>
Grasa	6.2	2.1	4.5	3.7	2.1
Fibra	4.9	2.6	2.3	1.9	0.9
Cenizas	3.4	1.9	1.4	1.9	1.4
Carbohidratos	61.7	66.9	67.7	69.2	75.4
Calorías/100 g	366	343	352	359	353

1. %N x5.85; 2. %N x5.7; 3. %N x6.25; 4. %N x5.8

Fuente: Paredes *et al.* (s/f).

Además existe una importante variación en el contenido y calidad de la proteína en diferentes especies de amaranto (Tabla 4). Es preciso señalar que estas características de su estructura son importantes en la determinación de las tecnologías a utilizar en el procesamiento del grano.

Tabla 4. Contenido de proteína de varias especies de amaranto (g/100 g)

Especie	Nº de genotipos	Rango	Promedio
<i>A. Caudatus</i>	36	11,1 - 19,4	13,5
<i>A. hypochondriacus</i>	26	12,7 - 17,9	15,5
<i>A. cruentus</i>	21	13,0 - 20,6	15,7
<i>A. hybridus</i>	2	13,1 - 14,3	13,7

Fuente: Bressani, 1989.

Por otro lado, el valor nutritivo de las hojas de amaranto ha sido también ampliamente estudiado. Se ha encontrado que la hoja contiene altos valores de calcio, hierro, fósforo y magnesio, así como ácido ascórbico, vitamina A y fibra. El cultivo de amaranto para verdura requiere mayor humedad, ya que se ha observado que bajo condiciones de estrés hídrico las hojas contienen altos niveles de oxalatos y nitratos, que pueden tener efectos adversos para la nutrición humana (Becerra, 2000; Mújica *et al.*, 1997).

La proteína está compuesta por un buen balance de aminoácidos esenciales, principalmente lisina que es uno de los aminoácidos estratégicos en la nutrición y los niveles de esta, son superiores a los de todos los cereales, aunque se ha reportado que es deficiente en treonina (Búcaro y Bressani, 2002). Se ha estudiado el contenido de fracciones proteicas en el grano, basada en su solubilidad y se ha reportado que la distribución de proteínas, es de 20.7% de albúminas, 19.2% de globulinas, 2.2% de prolaminas y 44.4 % de glutelinas, con 13.4% de residuo de la proteína total; con una relación entre globulinas y albúminas de 0.95 (Bressani y García –Vela, 1990).

El balance de aminoácidos del amaranto, se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana (Tabla 5). Por su composición, la proteína del amaranto se asemeja a la de la leche. Según la FAO y la OMS, sobre un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee 75, la leche vacuna 84.5 y el maíz 44. Además, la digestibilidad de su grano es del 93%. Por otra parte, la calificación química de *A. hypochondriacus* es de 86 y de 77 en *A. cruentus* (Mújica *et al*, 1997).

Tabla 5. Contenido de aminoácidos de la proteína de diferentes especies de amaranto y su Calificación Química (mg de aminoácidos / g de proteína).

Aminoácidos	Patrón de aminoácidos(a)	<i>A. caudatus</i> (b)	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>
isoleucina	28	52	39	36
leucina	66	46	57	51
lisina	58	67	55	51
metionina + cistina	25	35	47	40
fenilalanina + tirosina	63	63	73	60
treonina	34	51	36	34
triptofano	11	11	---	---
Valina	35	45	45	42
histidina	19	25	25	24
Calificación química		70	<b>86</b>	77

a. FAO/OMS/ONU, 1985 b. Collazos *et al*, 1975.

Fuente: Mújica *et al*, 1997.

Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con las calificaciones químicas de la proteína del trigo (49) y maíz (44), mientras que las proteínas de origen animal no tienen calificación química por no tener aminoácidos limitantes (Tabla 6).

Tabla 6. Datos de calidad proteica del amaranto y otros alimentos.

Alimento	Calificación Química	Valor Biológico	PER <sup>1</sup>
Amaranto	86	73.0	2.40
Trigo	49	64.7	1.53
Arroz	63	64.0	2.18
Avena	57	64.9	2.25
Maíz	44	59.6	1.18
Huevo	---	93.7	3.92
Leche	88	84.5	3.09

Fuente: FAO, 1970.

1. Relación de Eficiencia Proteica.

Lo que destaca de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación de aminoácidos con las proteínas de maíz, arroz y trigo (Tabla. 7).

En un estudio realizado por Barba de la Rosa y colaboradores (1992), describen que la composición de aminoácidos de las proteínas constituyentes del grano de amaranto son así: la albúmina es rica en lisina y valina, globulinas ricas en metionina y cisteína; prolamina rica en aminoácidos azufrados y fenilalanina y por último, las glutelinas en leucina, treonina e histidina. En general, las glutelinas exhiben la mayor proporción de aminoácidos esenciales (Búcaro y Bressani, 2002). El único factor limitante en relación con la harina obtenida de la semilla de amaranto es la ausencia o escaso contenido de gluten (Sánchez-Marroquín, 1983; Yáñez *et al.*, 1994)

Tabla 7. Perfil de Aminoácidos del amaranto y otros granos (mg / 100 mg de alimento).

Cereal	Amaranto	Trigo	Trigo 70-80% ext.	Avena Harina	Arroz	Maíz
Aminoácido						
1. Isoleucina	695	426	435	526	296	350
2. Leucina	1030	871	840	1012	581	1190
3. Lisina	<b>970</b>	<b>374</b>	<b>248</b>	<b>517</b>	<b>255</b>	<b>254</b>
4. Metionina	344	196	174	234	150	182
5. Cistina	NR	332	304	372	108	147
Total de a.a azufrados (4-5)	344	528	478	606	259	329
7. Fenilalanina	707	589	581	698	342	464
8. Tirosina	657	391	277	459	226	363
Total de a.a aromáticos (7-8)	1364	980	858	1157	568	827
10. Treonina	676	382	321	462	234	342
11. Triptofano	NR	NR	128	NR	NR	67
12. Valina	842	577	493	711	408	461
13. Arginina	1449	602	422	876	534	398
14. Histidina	451	299	248	292	165	258
15. Alanina	667	472	367	633	401	716
16. Ac. Aspartico	1624	644	491	1075	673	596
17. Ac. glutámico	3005	3900	4171	2919	1350	1800
18. Glicina	1703	512	424	656	307	351
19. Prolina	707	1298	1387	723	331	850
20. Serina	1380	600	562	656	329	473

Fuente: FAO, 1970. NR: no reportado

El contenido de lípidos va de 5 a 8% y su aceite es reconocido por ser la fuente vegetal con mayor concentración de escualeno (aprox. 6%), un tipo de grasa que hasta ahora se obtenía de tiburones y ballenas; el aceite de amaranto es de buena calidad ya que no contiene colesterol y su rendimiento puede ser superior al del maíz, cereal que se emplea comercialmente como fuente de aceite (Tabla 8).

Tabla 8. Contenido de grasa en distintos granos (%.b. m. s).

Cereal o grano	Contenido de extracto etéreo
Amaranto	7,2
Cebada	2,1
Maíz	4,4
Avena	4,4
Arroz	5,1
Centeno	2,1
Sorgo	3,4
Trigo	1,9

Fuente: García *et al*, 1987.

Los principales ácidos grasos esenciales presentes en el amaranto en niveles altos son: el ácido oleico y el ácido linoleico (Tabla 9) lo que le confiere una mayor calidad nutricional (Paredes, 2001).

Tabla 9. Perfil de ácidos grasos del amaranto. (g/ 100g)

Ácido graso	Contenido de grasa
Ácido oleico	29.3
Ácido linoleico	44.0
Ácido palmítico	18.4
Ácido linolénico	1.3
Ácido mirístico	0.2
Ácido miristoleico	0.1
Ácido miristolénico	0.1
Ácido palmitoleico	0.8
Ácido palmitolénico	0.9
Ácido esteárico	3.8

Fuente: Casillas, 1986.

El amaranto también contiene gran cantidad de minerales principalmente calcio, magnesio y hierro.

Tabla 10. Contenido de Minerales en el Amaranto. (mg / 100 g base seca)

Mineral	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Sodio	31.0	6.7-10.0
Potasio	290	--
Calcio	175	137-167
Magnesio	244	292-363
Hierro	17.4	9.1-21.7
Zinc	3.7	3.6-3.9
Cobre	1.2	0.6-0.8
Manganeso	4.6	1.9-2.9

Fuente: Teutonico y Knorr, 1985.

En cuanto a las vitaminas, el amaranto contiene tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C en cantidades similares a las de los cereales, que se distribuyen principalmente en la cáscara (Tabla 11).

Tabla 11. Contenido de Vitaminas en el Amaranto. (mg / 100 g base seca)

Vitamina	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Riboflavina	0.19-0.23	0.29
Niacina	1.17-1.45	1.15
Ácido ascórbico	4.5	2.8
Tiamina	0.07-0.1	0.25

Fuente: Teutonico y Knorr, 1985.

El amaranto prácticamente no tiene factores antinutrimientales, como las leguminosas u otros granos, como: saponinas, inhibidores de tripsina y taninos, ni compuestos fenólicos. Los oxalatos y nitratos presentes en las hojas no representan un serio problema puesto que pueden eliminarse por medio del lavado (Sánchez- Marroquín, 1983; Paredes, 2001).

## 1.1.8 TRANSFORMACIÓN DEL AMARANTO.

### 1.1.8.1 A nivel artesanal.

El amaranto es un grano muy versátil para la transformación e industrialización, puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal; lógicamente con mayores ventajas nutricionales, aunque por la falta de gluten (Yáñez *et al.*, 1994), en la panificación debe mezclarse con la harina de trigo para enriquecerlo y darle características panificables adecuadas.

La transformación primaria del grano de amaranto, es el grano reventado del cual se elabora la alegría (México), turrón (Perú, Bolivia, Ecuador), nigua (Guatemala) y consiste de la mezcla de dicho grano reventado con miel, chocolate y dándole formas de diferentes figuras geométricas o de animales; este producto tiene una enorme aceptación, siendo su producción principalmente de forma artesanal y en micro industria (Mújica *et al.*, 1997). Aunque la confección del dulce de alegría es el principal uso del grano de amaranto, en menor escala y en algunas regiones se utiliza en la preparación de atole, pinole (México, Guatemala), tamales, chuales, pastas, galletas, tortitas saladas, dulce y nieves, reventadas (en cereal y confituras) y para extraer el aceite escualeno (para la confección de cosméticos). Se adiciona también en mezcla de harina para fabricar pasteles, «panqués», y las hojas tiernas se utilizan en sopas.

Otro uso del amaranto sería en la elaboración de tortillas con maíz (Figura. 4), alimento de uso general en Mesoamérica o en mezclas con otras harinas a fin de enriquecerlas en proteína. La obtención de harina, tanto del grano crudo como tostado o precocido, las cuales adecuadamente envasadas se utilizan para preparar mazamoras (Perú, Bolivia, Ecuador), budines, sopas, papillas y diferentes potajes.



Figura. 4 Tortillas de amaranto.

La harina se utiliza también para preparar pasteles, panes, humitas, tortillas, bebidas refrescantes y alcohólicas (Chicha en la zona andina), la broza de la inflorescencia después de la trilla del grano, se utiliza como colorante de comidas, especialmente aquellas que tienen colores púrpuras, rojos intensos (Cajamarca-Perú) denominándolo color Kewa, y también las hojas frescas o secas a la sombra como verdura.

La harina de amaranto (Tabla 12) se utiliza para efectuar mezclas con la de trigo para la elaboración de tortillas en México, utilizándose en una proporción de 90:10, el producto final es una tortilla que reúne las características especificadas por las normas oficiales, el sabor no se afecta seriamente y el costo del producto es propiamente igual. Así mismo se puede sustituir la harina de trigo para la panificación con el 15% de harina de amaranto, obteniéndose panes de mayor valor nutritivo, mayor grasa, fibra y fracciones minerales (Mújica *et al.*, 1997).

Tabla 12. Análisis químico proximal de la harina integral de amaranto (g/100 g)

	( 1 )	( 2 )
Humedad (%)	10,1	8,3
Proteína	17,8	14,2
Grasa	3,2	6,3
Fibra	5,1	---
Cenizas	2,1	3,0
Carbohidratos	61,7	---

Fuente: (1) Sánchez y Maya, 1986, (2) Rayas-Duarte *et al.*, 1996.

Es muy prometedor el desarrollo agroindustrial, ya que el amaranto tiene una gran versatilidad en su utilización, sea en forma de harina, pastas para sopas, repostería, extracción de lisina y triptófano y como cereal.

#### 1.1.8.2 A nivel de investigación.

Una de las características más importantes del amaranto es, sin duda, su alto valor nutritivo. Los amarantos, además, se pueden aprovechar de múltiples formas, como grano, como verdura o como forraje. La semilla presenta una gran versatilidad, pudiéndose utilizar en la preparación de diversos alimentos y tiene, además, un prometedor potencial de aplicación industrial, tanto en la industria de los alimentos como en la elaboración de cosméticos, colorantes y hasta plásticos biodegradables (Santín *et al.*, 1986; Becerra, 2000).

El almidón es el componente principal en la semilla del amaranto, pues representa entre 50 y 60% de su peso seco. El almidón del amaranto posee dos características distintivas que lo hacen muy prometedor en la industria: tiene propiedades aglutinantes inusuales y el tamaño de la molécula es muy pequeño

(aproximadamente un décimo del tamaño del almidón del maíz). Estas características se pueden aprovechar para espesar o pulverizar ciertos alimentos o para imitar la consistencia de la grasa [[\(www.gro.itesm.mx/ \(1\)\)](http://www.gro.itesm.mx/)]. El tamaño de los granos de almidón de algunas líneas de amaranto le permiten gelatinizar con temperaturas bajas, entre 50 y 75 ° C, haciéndolo apto para usar en sopas. En otros casos, los gránulos son estables al congelado y descongelado, característica deseable para la fabricación de salsas, compotas y para su uso en alimentos congelados. También, las características físicas permiten la obtención de polvo impalpable y/o liofilizado, que se utiliza en infusiones para la preparación de desayunos, así como también en la industria cosmética.

El almidón de amaranto (nativo o modificado), posee propiedades únicas que lo presentan como una alternativa potencial de la industria de alimentos; ya que en productos enlatados podría actuar como coloide protector para reducir o prevenir la desnaturalización de las proteínas; los almidones nativos presentan menor temperatura de "pasting" y menor pico de viscosidad que lo hace un ingrediente ideal para la mezcla de sopas instantáneas. Además podría utilizarse en la fabricación de plásticos biodegradables y papeles especiales (Mújica *et al*, 1997).

Ciertas variedades son ricas en un pigmento natural denominado amarantina, que se utiliza en varios productos alimenticios, como mayonesas y salsa de soja (Becerra, 2000). De las variedades rojas se obtiene un pigmento natural llamado betalaína, que se degrada levemente con la luz.

Los chinos utilizan la harina para hacer fideos, panqueques y dulces, utilizan el colorante para la salsa de soja, y alcanzan excelentes resultados empleando la planta como forraje para animales. Los granos se consumen molidos, reventados, tostados, germinados y extruidos; esta última forma es con la que se logra un mayor valor nutritivo (Becerra, 2000).

En Europa y Estados Unidos se consumen en forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel de amaranto, aceite de amaranto, barras de cereal, pan de amaranto, tortillas de amaranto y maíz. La harina generalmente se utiliza para enriquecer pastas, panes, galletas y alimentos para bebés. En mezclas con harina de trigo al 25-30% se obtiene pan francés de alto valor nutritivo (Sánchez-Marroquín, 1983; Matz, 1991; Yáñez, *et al.*, 1994).

## 1.2 TRIGO

### 1.2.1 Antecedentes Históricos.

Se dice que el trigo llegó a nuestro país en la época de la conquista, a través de embarcaciones españolas que arribaron con grandes cantidades de trigo, pero la historia lo documenta de otra manera. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gómora, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés, fue el primero en sembrar y cosechar trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Sólo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España. Ya para 1534, a escasos 13 años de consolidar la conquista, se levantaban importantes cosechas de trigo en las inmediaciones de Texcoco y Puebla.

Los Jesuitas hicieron que el trigo llegara a la parte norte del país en donde enseñaron a los nativos a cultivarlo. Con la expulsión de estos religiosos, los franciscanos siguieron la labor del cultivo en toda la región. El cultivo del trigo en la Nueva España, así como su transformación en harina y posteriormente en pan, fue una necesidad imperiosa de los conquistadores, para satisfacer aquí viejas costumbres en su alimentación. También tuvieron la tarea de enseñar a los autóctonos la molienda y la elaboración del pan convirtiéndose en parte de la dieta americana desde entonces.

Los molinos cercanos a la capital, algunos de los cuales databan del siglo XVI, eran a principios del siglo XIX los siguientes: El Molino del Rey, que pertenecía al Marqués de Zulueta; los de Temacoco, Zavaleta, Socorro, Miraflores en Texcoco y el del Moral; los de Santo Domingo y Valdés en Coyoacán y el de Belén en las lomas de Santa Fé, en Tacubaya; los de Santa Mónica y San Ildefonso en la jurisdicción de Azcapotzalco ([www.harina.org/trigo](http://www.harina.org/trigo)).

### 1.2.2 Origen.

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en este área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar.

Los primeros estudios en 1855 encontraron especies silvestres de trigo en la región que hoy corresponde a Israel, descubriéndose también trigo silvestre más tarde en Palestina. También se

estableció que especies de trigo se cultivaban alrededor de 8400-7500 años a.C., en Siria y en zonas que son parte de Irak. También existen evidencias que sugieren que los egipcios ya cultivaban trigo duro alrededor de 4000 a.C., y se ha sugerido que en ese mismo periodo se cultivaba trigo duro en el área que corresponde actualmente a Ucrania. En depósitos localizados en el Cáucaso, que datan de 6000 años a.C., se han encontrado granos de numerosas especies, entre las que se incluyen trigo, cebada, avenas y centeno (Kill y Turnbull, 2001).

### 1.2.3 Clasificación Botánica

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas.

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Glumíferas

Familia: Gramíneas

Genero: *Triticum*

Especie: *T. aestivum*, *T. compactum*, *T. durum*, *T. aethiopicum*,  
*T. araraticum*, *T. boeoticum*, *T. carthlicum*, *T. dicoccon*, etc.



Figura. 5 Planta de Trigo.

El trigo es una planta gramínea de crecimiento anual de la familia del césped, de altura promedio de un metro (Figura 5). Sus hojas verdes, parecidas a las de otras gramíneas, brotan muy pronto y van seguidas por tallos muy delgados rematados por espigas de cuyos granos molidos se saca la harina (Calaveras, 2004).

### 1.2.4 Estructura del grano

Con frecuencia el grano de trigo corresponde al fruto que encierra una sola semilla, o botánicamente, la cariósida de la planta común del trigo, *Triticum aestivum* (Desrosier, 1989). Los granos de trigo son ovalados, redondeados en ambos extremos (Figura 6). La longitud de los granos es en promedio, de 8mm y el peso de 35mg; el tamaño de los granos varía según la variedad y la posición de la espiga. El color, generalmente es blanco o rojo (aunque también puede ser púrpura), depende del pigmento en la cubierta de la semilla. El germen se encuentra en un extremo, mientras que en el otro hay un grupo de finas vellosidades; a lo largo de la cavidad del grano existe un repliegue o surco llamado aleurona y varias capas envolventes, existiendo en el fondo una zona pigmentada. En general el grano de trigo está

compuesto por endospermo que constituye el 83% del total del grano; el salvado formado por las capas externas del pericarpio, las capas envolventes del endospermo o aleurona y las del germen, que constituyen el 14% del total del grano y por último el germen que constituye el 3% del total del grano y su finalidad es formar la futura planta (Hoseney, 1991).

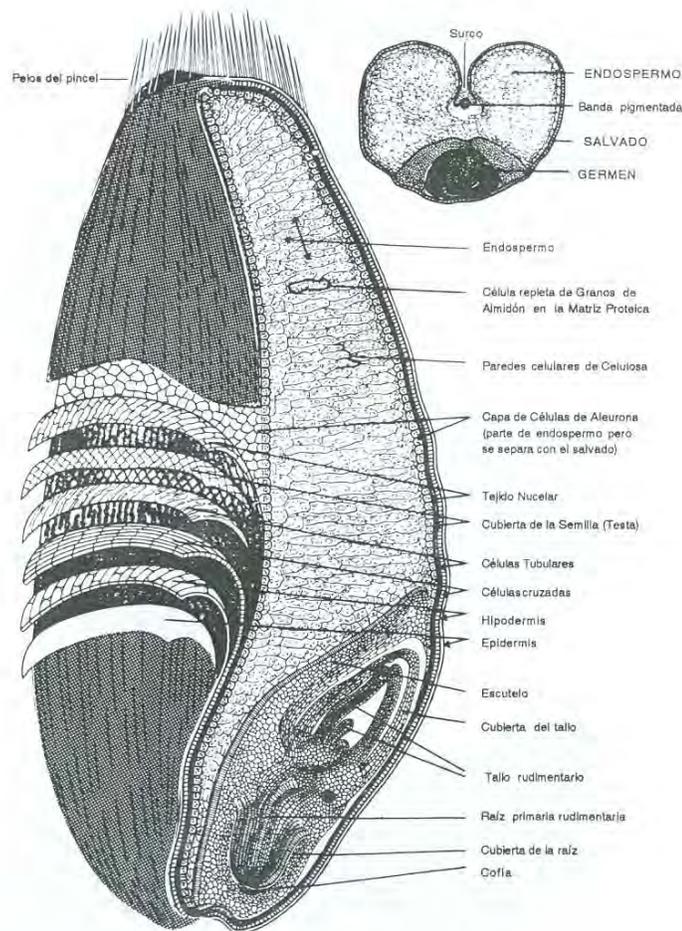


Figura. 6 Corte longitudinal y transversal de un grano de trigo.

El trigo se puede dividir en dos grandes grupos, según la cosecha:

Se conoce como trigo de otoño-invierno (O-I) y es aquel grano sembrado en otoño e invierno y crece lentamente hasta cosecharse en la primavera, y el trigo de primavera-verano (P-V) que fue sembrado en primavera, germina mucho más rápido y se cosecha en el verano.

Desde luego esta referencia puede depender de la ubicación de cada país y de sus condiciones climáticas particulares, ya que hay naciones en las que se puede cultivar trigo en diversos meses del año. Los trigos muy duros crecen en climas muy cálidos y secos y aún cuando absorben más agua, en

su comercialización tienen menos humedad. Los trigos suaves crecen en climas más templados donde hay presencia de más agua, aunque absorben menos cantidades. Generalmente en su comercialización aparecen con un contenido mayor de agua que los duros.

Hay diferentes tipos y variedades de trigos (Figura 7). Cada país establece sus propios sistemas de clasificación.

Las principales diferencias entre los granos de trigo son dadas por su dureza:

- A) Muy duros (durum)
- B) Duros (hard)
- C) Suaves o blandos (soft).

También tenemos dentro de estos grupos los que se definen por color:

- Ambarinos
- Rojos
- Blancos.



Figura. 7 Granos de trigo.

La «dureza» y «blandura» son características de molinería, relacionadas con la forma de fragmentación del endospermo. En los trigos duros, la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista, al azar. Este fenómeno sugiere áreas de resistencias y debilidades mecánicas en el trigo duro, y debilidad bastante uniforme en el trigo blando. Un punto de vista es que la «dureza» está relacionada con el grado de adhesión entre el almidón y la proteína. Otra forma de enfocarlo es, que la dureza depende del grado de continuidad de la matriz proteica (Stenvert y Kingswood, 1977).

**Trigos Duros:** Los trigos duros producen harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cernir, compuesta por partículas de forma regular, muchas de las cuales son células completas de endospermo. Por su gran cantidad de gluten y las propiedades coloidales de la misma se emplean preferentemente para la fabricación de macarrones, spaghetti y otras pastas alimenticias (Calaveras, 2004).

**Trigos blandos:** Los trigos blandos producen harina muy fina compuesta por fragmentos irregulares de células de endospermo (incluyendo una proporción de fragmentos celulares muy pequeños y granos sueltos de almidón) y algunas partículas aplastadas que se adhieren entre sí, se cieren con dificultad y

tiende a obstruir las aberturas de los cedazos; se emplean principalmente en la industria galletera y para productos de panificación.

La lesión que se produce en los granos de almidón al moler el trigo duro, es mayor que en el trigo blando. Según Berg (1947), la dureza es una característica que se transmite en los cruzamientos y se hereda siguiendo las leyes de Mendel. El endospermo del trigo duro puede tener el aspecto vítreo o harinoso, pero la fragmentación siempre es la típica del trigo duro.

Clasificación según su fuerza del gluten:

**Trigos fuertes:** Los trigos que tienen la facultad de producir harina para panificación con piezas de gran volumen, buena textura de la miga y buenas propiedades de conservación, tienen por lo general alto contenido de proteína. La harina de trigo fuerte admite una proporción de harina débil, así la pieza mantiene su gran volumen y buena estructura de la miga aunque lleve cierta proporción de harina débil; también es capaz de absorber y retener una gran cantidad de agua.

**Trigos débiles:** Los trigos que dan harina con la que solamente se pueden conseguir pequeños panes con miga gruesa y abierta se caracterizan por su bajo contenido en proteína. La harina de trigo débil es ideal para galletas y pastelería, aunque es inadecuada para panificación a menos que se mezcle con harina más fuerte (Calaveras, 2004).

Tabla 13. Clasificación de trigos basadas en diferentes características.

Características	Clasificación
Endospermo	Vítreo Almidonoso
Dureza del grano	Fuerte Medio Fuerte Suave Tenaz Cristalino
Época de Crecimiento	Invierno Primavera
Color del salvado	Blanco Ámbar Rojo Oscuro

Fuente: Calaveras, 2004.

### 1.2.5 Composición Química y Valor Nutritivo.

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa y rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas), lípidos (Ácidos Grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oléico, linoléico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) (Tabla 14) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (tiamina, riboflavina y otras del complejo B), enzimas ( $\beta$ -amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos (Primo, 1987; Hosoney, 1991).

Tabla 14. Composición química promedio del trigo en base seca.

Componente	(%)
Hidratos de carbono	
Totales	79.4
Fibra	2.6
Lípidos	2.1
Minerales	1.9
Proteína	14 <sup>a</sup>

a. N x 5.7

Fuente: Paredes et al., (s/f).

Estos nutrientes 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.

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

- Salvado. Cuyo componente químico mayoritario es celulosa y hemicelulosa, algo de proteínas y minerales.
- Germen. El componente mayoritario de este grupo es la materia grasa, seguido de proteínas (principalmente enzimas), también contiene azúcares, minerales y vitaminas B y E.
- Endospermo. Su componente químico mayoritario 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 beta-glucanos (Hoseney, 1991).

### 1.2.6 Almidón.

El almidón es el principal componente en los granos de cereales. La cantidad de almidón contenido en los cereales, varía, pero generalmente oscila entre el 60 y 75% de su peso (Hoseney, 1991). El almidón se diferencia de los demás carbohidratos en que se presenta como partículas complejas denominadas *gránulos*. Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y se hidratan muy mal en agua fría, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad; pero tienen la capacidad de formar soluciones viscosas (capacidad espesante) cuando la suspensión de los gránulos son sometidas a la acción del calor (Fennema, 1993). El almidón está compuesto básicamente por polímeros de  $\alpha$ -D-glucosa. Químicamente, se pueden distinguir dos tipos de polímeros: amilosa, que es un polímero lineal; y amilopectina que está muy ramificado.

La amilosa, es un polímero lineal de  $\alpha$ -D-glucosa unida por enlaces  $\alpha$ -1,4 (Figura 8). El peso molecular es del orden de 250,000 (1500 unidades de glucosa anhidra). La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa, aunque pueden variar dependiendo del grano. El almidón del trigo posee alrededor de un 28% de amilosa (Fennema, 1993).

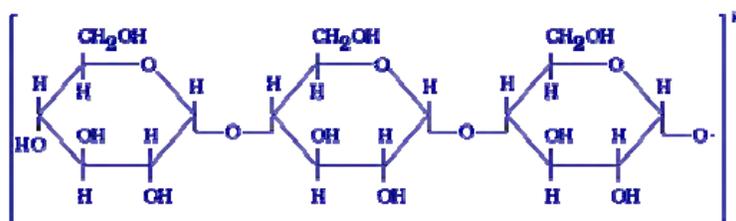


Figura 8. Molécula de Amilosa.

La Amilopectina es la segunda fracción del almidón, es una cadena ramificada y está formada por muchas cadenas cortas de unas 20 a 25 unidades de  $\alpha$ -D-glucosas. Un extremo de cada una de estas cadenas, se une a la siguiente unidad mediante un enlace glucosídico  $\alpha$ -1,6-, formando ramificaciones (Figura 9) El peso molecular de la amilopectina es variable pero oscila entre  $10^8$  (Hoseney, 1991).

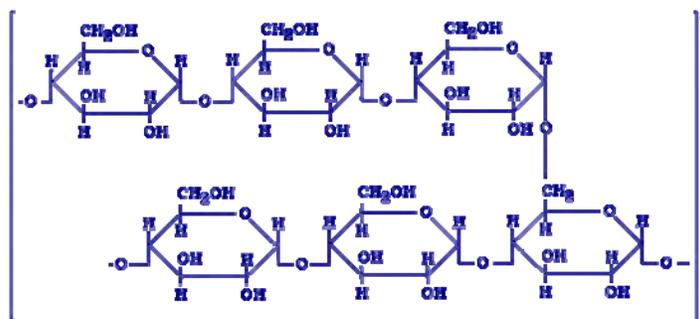


Figura 9. Molécula de Amilopectina.

La relación de amilosa – amilopectina es relativamente constante en los diferentes cereales, con un 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina (Tabla 15). Sin embargo, se conocen algunos cereales, en los que se altera fuertemente esta relación; como lo son algunos tipos de maíz, sorgo, cebada y arroz cuyo almidón es prácticamente 100% de amilopectina. Estos almidones se llaman *céreos* (Stephen, 1995; Fennema, 1993).

Tabla.15 Composición de amilosa y amilopectina de algunos almidones.

Fuente de Almidón	Amilosa	Amilopectina
Maíz alto en amilosa	50-85	15-50
Maíz	26	74
Maíz Céreo	1	99
Trigo	25	75
Arroz	17	83
Tapioca	17	83
Papa	21	79

Fuente: Stephen, 1995.

Los almidones de diferentes cereales varían ampliamente de tamaño, forma y propiedades de gelificación y capacidad de hidratación; factores que influyen de manera importante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos.

### Gelatinización del Almidón.

Los gránulos de almidón no dañados son insolubles en agua fría, pero pueden absorber agua de manera reversible hasta cierta temperatura (50 °C); es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver

luego al tamaño original al secarse. Sin embargo, cuando hay un aumento de temperatura (55-70°C), los gránulos de almidón sufren un proceso de gelatinización. La *gelatinización* es la pérdida del orden de las moléculas en los gránulos.

Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero se gelatinizan.

Al final de este fenómeno se genera un gel en el que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. Si se prolonga el calentamiento se produce la desintegración de los granos de almidón y disminuye la viscosidad (Fennema, 1993).

### Proteínas.

Las proteínas de los cereales son deficientes en uno o más aminoácidos esenciales. Los alimentos preparados con trigo son 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 16). El primer aminoácido limitante es la lisina, seguido, por la metionina y treonina (Primo, 1987; Serna, 1996). Por otra parte, las proteínas de reserva del trigo son únicas, porque son también proteínas funcionales. No poseen actividad enzimática, pero tienen la facultad de formar una masa fuerte que retendrá gas y rendirá productos horneados esponjosos; concretamente la gliadina y glutenina, proteínas que forman el gluten (Hoseney, 1991).

Tabla 16. Composición de aminoácidos de la proteína del Trigo. (g /100g de proteína.)

Fenilalanina	2.6	Treonina	2.4	Arginina	10.6
Histidina	4.1	Triptofano	1.1	Cistina	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.

### 1.2.7 Gluten.

Entre las proteínas que contiene el trigo las principales, desde el punto de vista tecnológico, son las que forman el gluten. Este componente es esencial para la elaboración de pastas alimenticias y en general para la elaboración de productos de panificación; ya que las proteínas que lo forman, la gliadina y la glutenina al mezclarse con agua forman lo que se conoce como gluten, componente responsable de formar masas fuertes y elásticas. Las proteínas del gluten son proteínas de reserva del trigo. Se aíslan con relativa facilidad por ser insolubles en agua (Charley, 2000).

Las gliadinas (prolaminas) son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares. Su peso molecular medio es de unos 40.000, son de cadenas simples y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser la responsables de la cohesividad de la masa.

Por otra parte, las gluteninas (glutelinas) también parecen ser un grupo heterogéneo de proteínas. Son de cadena ramificada y su peso molecular oscila entre unos 100.000 y varios millones, aproximadamente unos tres millones. Físicamente, la proteína es elástica, pero no cohesivas. La glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1991; Charley, 2000). La relación en que se encuentran la gliadina y glutenina determinan la resistencia mecánica del gluten, normalmente ésta es de 20% de Glutenina y un 80% de Gliadina.

El gluten del trigo de la especie “*durum*” suele ser más débil que el gluten del trigo común (*T. aestivum*), es por eso que no sirve para panificación. Este tipo de glúten es corto y tenaz, apto para la elaboración de pastas. Dada la importancia del gluten en la elaboración de productos a base de trigo, existe una clasificación de este grano basada en el tipo de gluten que presenta (Tabla 17).

Tabla 17. Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación. Usados para mejorar la calidad de trigos débiles.
II	Medio-Fuerte	Gluten medio-fuerte apto para la industria artesana de panificación.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera. Usado para mejorar las propiedades de trigos tenaces.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera y galletera
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas.

Fuente: Serna, 1996.

## 1.3 PASTAS

### 1.3.1 Definición de pastas alimenticias:

Las pastas alimenticias se obtienen a partir de sémola y semolina procedentes de harinas con un grado de extracción inferior al 70%, a las que se puede incorporar huevo.

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

Las pastas son 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; estos productos se elaboran generalmente mediante mezclas de semolina de trigo (preferentemente a partir del 100% de *Triticum durum*) con una mínima parte de agua para obtener una pasta no leudante. En áreas en donde no existe disponibilidad de trigo se utiliza el cereal propio del lugar o incluso otros almidones para la elaboración de pastas (David, 2001).

### 1.3.2 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.

De acuerdo a la Norma Oficial 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 y/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 y/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 y/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 (Figura 10).

- 1.- PASTAS CORTAS (Menudas, Fantasía y Huecas)
- 2.- PASTA LARGAS (macarrón, espagueti, tallarín)
- 3.- FIDEOS



Figura. 10 Formas de Pastas.

### 1.3.3 Calidad de las pastas.

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. La pasta no cocida debe ser fuerte mecánicamente, guardando un cierto grado de elasticidad, no debe presentar roturas o fracturas de forma que conserve su tamaño y forma durante el empaquetamiento y transporte. Debe ser también de color amarillo, translúcido y uniforme; no debe presentar manchas negras o blancas. En cuanto al olor debe ser característico, recordando al de la sémola y el sabor debe ser agradable al paladar. Las pastas de buena calidad aumentan su volumen de tres a cuatro veces pero por lo menos deben hincharse al doble de su volumen y absorber por lo menos el doble de su peso en agua

Para su cocción, el producto debe mantener su forma y no abrirse o desmoronarse, si hay desintegración en la pasta puede ser indicio de pobreza de gluten o deberse a trabajo excesivo, defectuoso o un sobrecalentamiento en el proceso. Debe quedar firme al mordisco (calidad llamada “al dente”) y la superficie no debe ser pegajosa.

El agua de cocción debe quedar libre de almidón y no cambiar a otro color, de ser así indicaría que la pasta ha sido tintada artificialmente. Finalmente, la pasta debe ser resistente al exceso de cocción.

### 1.3.4 Ingredientes para la elaboración de las pastas.

#### Harina.

La harina es el polvo que se obtiene de la molienda y posterior tamizado del grano de trigo maduro, entero o quebrado, limpio, sano y seco, del género *Triticum*; de las especies *vulgare*, *compactum* y *durum* o mezclas de éstas, en el que se elimina gran parte de la cascarilla (salvado) y el germen.

Las harinas no solo difieren en la clase de trigo de que están hechas, sino también en la forma en que se muelen. La molienda de trigo consiste en separar el *endospermo* que contiene el almidón y la proteína, de las otras partes del grano. La harina integral se hace con toda la semilla, las harinas blancas suman el 97% de toda la harina. Cuando el endospermo es reducido por medio de la molienda a fracciones de cierto tamaño para calificarse como harina, generalmente el trigo entero rinde más del 72% de harina blanca y el resto es un subproducto. En la molienda, el grano de trigo se somete a diversos tratamientos antes de convertirlo en harina.

La harina contiene entre un 65 y un 70% de almidones y un contenido de proteínas del 9 al 14%; siendo las más importantes la gliadina y la glutenina, además de contener otros componentes como: celulosa, lípidos y azúcar.

Productos de la molienda:

**Harina:** Es el endospermo del grano de trigo convenientemente molido y tamizado (14-120  $\mu\text{m}$ ), libre de germen y afrecho o afrechillo. Su aspecto y color dependen del sistema de extracción resultando las harinas más oscuras cuanto mayor es el porcentaje de afrechillo. Un buen rendimiento de harina es el 75 %, con un 80 % hay un 5 % más de afrechillo.

El color también depende del tipo de trigo empleado, desde el centro del endospermo hacia el pericarpio, la harina se va haciendo más oscura. Sobre la base de este factor se hallan las harinas tipificadas, así:

**Sémola:** Son partículas o gránulos refinados de endospermo, obtenido en la trituración del grano en los primeros pasajes de la molienda, de tamaño intermedio (200-500  $\mu\text{m}$ , retenidas por las mallas EUA Núm., 40 a 85) generalmente de color amarillo (alta en carotenoides) ó ámbar, que posee un gluten tenaz pero poco elástico, puesto que la sémola es una harina de extracción bajo, contiene pocos minerales y vitaminas y se le utiliza en la elaboración de sopas y pastas secas (Serna, 1996).

**Semolina:** Así se conocen a sémolas más trituradas y por tanto más finas (120-200  $\mu\text{m}$ ).

*Harinilla*: Es la harina extraída de la parte más superior del endospermo es decir la que está en contacto con el pericarpio, es la de color más oscuro y se aplica en la elaboración de raciones para alimento animal (aaprotrigo.org).

*Salvado*.: Es el producto obtenido de las diferentes cubiertas del trigo.

Subproductos de la molienda:

*Afrecho, afrechillo y semitín*: Estos subproductos provienen de las capas exteriores del grano de trigo siendo el semitín producto de la última molienda del grano, y que posee aún partículas de harina, pudiéndose comparar su granulación con la del semolín. Todos ellos son utilizados en la alimentación animal y humana.

La composición química de la harina dependerá del grado de extracción; conforme aumenta el grado de extracción, disminuye la proporción de almidón y aumentan las cantidades de constituyentes procedentes de las envolturas del grano tales como minerales, vitaminas y fibra alimentaría (Belitz, 1997).

Propiedades y calidad de la harina:

Sensoriales

Color. Blanco o ligeramente amarillo

Olor. Uno característico del producto, sin ningún olor extraño.

Sabor. Farináceo, uno característico del producto, sin sabor extraño o desagradable

Físicas y químicas (Tabla 18):

Tabla 18. Composición Química característica de diferentes harinas para productos elaborados con trigo.

Especificaciones	Grado I para panificación	Grado II para galletas	Grado III para pastas y sopas
Humedad % máx.	14.0	14.0	14.0
Proteínas ( N x 5.7) min	9.5	9.0	9.0
Cenizas %	0.55 máx.	0.4-1.0	0.6 máx.
Fibra Cruda %	0.2-0.4	0.2-0.6	0.3máx.
Gluten Húmedo % mín.	31.3	29.7	29.7

Porcentajes expresados sobre base húmeda de 14% expuesto gluten. Fuente: NMX-F-007-1982

## Agua.

En la fabricación de pastas alimenticias se necesita bastante cantidad de agua, pues se necesita una proporción de 18 a 30 % para el amasado de la harina. El agua que se utiliza, debe ser pura, no debe tener ningún sabor extraño y debe ser potable. Como la pasta se procesa por debajo de temperaturas de pasteurización, la cuenta bacteriana del agua está directamente relacionada a la cuenta bacteriana del producto terminado. En consecuencia, sólo debe utilizarse agua pura de cuenta bacteriana total baja (Remon y Ferrer, [s/f]). Las características que debe tener el agua se presentan en la Tabla 19.

Tabla. 19 Características del agua para elaborar pastas.

Cuenta bacteriana: Coniformes totales Coniformes Fecales Cuenta total de mesofílicos aerobios	> 2 NMP / 100ml Negativo 100 UFC/ ml
Dureza	30° máximo
Sólidos <sup>1</sup>	500mg máximo, de los cuales: Carbonato 200 mg máximo Sulfato 80 mg máximo Silicato 25 mg máximo Nitrato 10 mg máximo Calcio y Magnesio 200 mg máximo Cloruros 10 mg máximo Materia Orgánica 30 mg máximo
pH	7

Fuente: Escamilla, 2001; Remon y Ferrer, [s/f]; NOM-093-SSA1-1994 y NOM-127-SSA1-1994.

1. Resultados de haber evaporado 1l de agua.

2. Numero más Probable por 100ml (NMP). Unidad Formadora de Colonias (UFC) por mililitro.

## Ingredientes opcionales.

Huevo: Debe contener en proporciones de 4.2% de sólidos de huevo ó 16% de huevo entero líquido o la cantidad equivalente de clara de huevo líquida. Los huevos mejoran la calidad nutricional del producto, proporciona un color amarillo brillante a las pastas y ayuda a la integración de la sémola y el agua.

Sazonadores: Como son la sal yodatada la cual ayuda a reafirmar el sabor e inhibir el desarrollo de microorganismos; cebolla, ajo, perejil y apio que proporcionan su sabor característico a la pasta y le imparten color.

Colorantes naturales o artificiales. La adición de estos ingredientes, dependerán del costo y de las características del producto final. (NMX-F-023-S-1980; Counters, 1996)

Vitaminas y Minerales: Dependiendo de la exigencia en las legislaciones de los países, pueden adicionarse tiamina, riboflavina y niacina y minerales como el hierro (David, 2001).

### 1.3.5 Producción y consumo.

Las pastas forman parte de la alimentación de la población mexicana de diferentes clases sociales, principalmente la población de escasos recursos, sobre todo del medio urbano. Las pastas son baratas y relativamente fáciles de preparar y de un alto consumo, se estima que la producción nacional, si bien no ha aumentado, se ha mantenido constante en los últimos cinco años con un promedio de 20,153 toneladas y un valor de 179,789 miles de pesos (Tabla 20).

Tabla 20. Volumen y valor de producción de pastas alimenticias por año.

<b>Año/Periodo</b>	<b>Volumen (Toneladas)</b>	<b>Valor (Miles de pesos a precios corrientes)</b>
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 <sup>p/</sup>	20,665	208,363
2006/07	17,794	179,995
<b>Estadísticos:</b>		
Media	20,153	179,789
p/ Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica. Fuente: INEGI. Encuesta Industrial Mensual.		

Por otra parte, se puede ver, en los datos de producción mensual comprendidos de los años 2000 al 2006 (Tabla 21), que en general, durante el curso del año la producción se mantiene constante (INEGI, 2006). 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 estas son de una calidad nutrimental pobre, aunque existe la posibilidad de mejorarlas nutricionalmente con otros cereales. Es por eso que la pasta para sopa es una buena opción para ser utilizada como vehículo para el mejoramiento del nivel nutricio de la población consumidor.

Tabla 21. Volumen de producción por mes de pastas alimenticias.

<b>Año</b> <b>Periodo</b>	2000	2001	2002	2003	2004	2005 <sup>p/</sup>	2006	
Enero	18.402	20.781	20.031	21.641	17.108	16.251	18.701	
Febrero	16.504	18.538	17.408	20.618	16.882	17.948	17.505	
Marzo	19.028	18.905	16.484	20.156	17.630	17.220	18.270	
Abril	14.744	13.947	21.842	15.927	17.099	19.907	17.327	
Mayo	22.559	21.321	23.220	21.467	19.590	21.150	18.144	
Junio	21.358	22.670	22.430	20.566	20.313	19.122	18.047	
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	-----	
<b>Estadísticos:</b>								
Media	20,306							
Volumen: Toneladas p/ Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica. Fuente: INEGI. Encuesta Industrial Mensual.								

### 1.3.6 Proceso de Elaboración de Pastas Alimenticias.

Las pastas se pueden hacer con maquinaria a pequeña escala o de forma manual, pero sin duda la mayor parte de la pasta comercial se hace en grandes líneas de producción en continuo y altamente automatizadas que producen desde 5 kg/h hasta más de 3.000 kg/h (David, 2001).

Existen básicamente dos maneras de procesar pastas: *pasta prensada/troquelada* y *pasta manufacturada vía extrusión en frío* (David, 2001).

En ambos procesos de producción de pastas, las etapas generales son similares: la semolina es hidratada, amasada, formada y secada para formar el producto terminado que posee una prolongada vida de anaquel.

#### 1.3.6.1 Pastas elaboradas por Prensado/ Troquelado.

La semolina es primeramente mezclada con agua aproximadamente en una proporción de 18-25%, para obtener una masa con un contenido de humedad de 30-32%. El producto terminado tiene un contenido final de agua de 12.5%. La amasadora puede estar provista con un sistema de vacío con el objeto de reducir la formación de burbujas de aire que disminuyen el grado de color y la resistencia de

la pasta al manejo durante su comercialización. En el caso de productos troquelados la masa es rolada y laminada a través de un sistema de rodillos, troquelada o cortada con rodillos formadores y la masa de desperdicio es reciclada (Serna, 1996).

### **1.3.6.2 Pastas elaboradas por Extrusión en frío.**

La elaboración de pasta por extrusión, es un proceso que se denomina extrusión en frío, ya que se lleva a cabo a 45 °C, por que una temperatura mayor provocaría la desnaturalización de las proteínas y la disminución de la calidad del gluten; y por lo tanto, un producto de mala calidad.

Las funciones básicas del extrusor son mezclar, formar y cortar la pasta de manera continua (Serna, 1996).

Para dar a la pasta la forma deseada, la pasta es forzada a pasar por un tornillo sinfín que la lleva y comprime hacia el fondo del extrusor y sale por la boquilla a una presión relativamente alta (Hoseney, 1991). Los tornillos que se emplean para la producción de pasta tienen básicamente dos zonas: a) la zona de recepción de la masa y de desarrollo de la presión y b) la zona de presión y amasado reales.

Hay tres alternativas básicas para formar o prensar por extrusión la masa:

- 1.- Mezcladoras y extrusores de funcionamiento discontinuo, a pequeña escala. El proceso de mezclado y amasado se realiza por separado del extrusor.
- 2.- Un proceso continuo empleando un extrusor de tornillo. Aquí no hay un amasado preliminar del material para obtener una masa homogénea. La homogeneización de la masa se consigue por las altas presiones (80 a 120 bares), que se alcanzan en la cámara del tornillo (o husillo) de extrusión, antes de la boquilla.
- 3.- Un proceso de mezcla-amasado continuo, mediante un extrusor de tornillos gemelos que giran en el mismo sentido. La materia prima seca y los ingredientes líquidos se mezclan y amasan en el mismo extrusor formando una pasta homogénea. La masa de consistencia plástica se extruye a través de la boquilla de manera continua (Kill y Turnbull, 2004).

### **Etapas generales del proceso de extrusión.**

La mezcla de la sémola de trigo con el agua, crea una red proteica en la masa conocida comúnmente como gluten, que depende del contenido y calidad de la proteína de la sémola, así como el tiempo de retención en la mezcladora. Para dar al producto final una cierta resistencia a una cocción excesiva y para retener su valor nutritivo, esta red proteica debe cuidarse tanto como sea posible. Esto sólo es posible si el amasado de la masa en el tornillo es suave, especialmente en la zona de presión; es decir,

que durante la extrusión deben cuidarse las condiciones de proceso y no sobrepasar los límites, tanto de presión (80- 120 bares) como de temperatura (45- 50°C) (Kill y Turnbull, 2004).

El amasado tiene lugar principalmente en la zona de presión del tornillo y justo en la zona anterior a la boquilla. La presión por sí sola no tiene ningún efecto dañino sobre la red proteica, pero sí, el calor que puede generar. Por otra parte, las fuerzas de cizalla que se desarrollan durante la extrusión tienen una influencia negativa sobre el material. Esas fuerzas de cizalla generalmente se desarrollan cuando se fuerza a la masa a fluir por los bordes cortantes de los orificios de las placas y los insertos de la boquilla.

La presión de la masa depende de varios factores:

- a) *Humedad de la masa.* La presión cae a medida que aumenta la humedad de la masa. La masa con un contenido excesivo de humedad da lugar a un producto pegajoso, especialmente en la primera fase del secado. Si la masa está demasiado seca, la temperatura aumenta debido a la mayor presión desarrollada durante la extrusión, y esto generalmente tiene como consecuencia una merma de la calidad y del color (manchas blancas).
- b) *Resistencia de la boquilla.* La resistencia de la boquilla depende de la relación entre el área libre y total de la boquilla, y de la velocidad de descarga (m/min.).
- c) *Dispositivo de protección de la boquilla.* La malla de tela metálica que se emplea para proteger la boquilla ofrece menos resistencia que las placas perforadas y tienen un efecto positivo en la textura de la masa, gracias a su acción adicional de amasado.
- d) *Temperatura de la masa.* Algunos factores que influyen en la temperatura de la masa:
  - temperatura de la sémola.
  - temperatura del agua de alimentación.
  - calor generado por fricción en la mezcladora y en los tornillos de extrusión.

Durante la extrusión, se genera calor en la masa tanto por presión como por fricción, este calor es deseable y también necesario, hasta cierto punto, para la extrusión. Pero un calentamiento excesivo de la masa durante la fase de extrusión tendrá, un efecto negativo en la red del gluten y en la calidad culinaria del producto terminado. Cuando la temperatura de la masa (a la salida de la boquilla) supera los 50-52 °C se deteriora la calidad culinaria; por eso se debe asegurar la disipación del exceso de calor. Para eso se instala un sistema de refrigeración adecuado alrededor de la sección de presión en la prensa extrusora (Kill y Turnbull, 2004).

Finalmente, la pasta que sale de las boquillas, es sometida a un proceso de secado, que indudablemente es la parte más crítica del proceso ya que consiste en la evaporación de la mayor parte del agua de la masa troquelada o extrudida; la humedad debe reducirse de 31% en la masa a 10-12% (p/p) en el producto terminado valor recomendado para su empaque y comercialización (Serna, 1996). La desecación se realiza en tres o cuatro etapas. Las pastas cortas pueden desecarse entre 4 y 6 h pero la pasta larga necesita de 20 a 24 h (David, 2001).

### **Características del almidón y el gluten en la elaboración de pastas.**

La sémola tiene dos componentes que son de vital importancia; las proteínas del gluten en la elaboración de la pasta y el almidón en la preparación culinaria de la misma.

El gluten en el trigo está presente en estructuras con forma de cuña que se encuentran entre los gránulos de almidón. Las proteínas del gluten al estar en contacto con una cantidad moderada de agua, se transforman en un material gomoso y elástico y adquiere la capacidad de formar cadenas y láminas mediante el establecimiento de puentes intermoleculares. Estas propiedades son fundamentales para su papel como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en la pasta y mantiene la forma del producto durante su elaboración y cocción.

Cuando se añade agua durante la hidratación y el contenido de humedad del gluten sube aproximadamente 33%, se comportará como un material flexible con capacidad de fluir si se aplica una fuerza. En este estado puede encapsular al almidón y ser moldeado para que la pasta cruda adquiere la forma deseada (Kill y Turnbull, 2004).

El contenido de almidón presente en la sémola de trigo es de aproximadamente el 85%; cuando este está frío (por debajo de 55 °C), el almidón se comporta como un relleno inerte con una capacidad limitada de absorber agua. Cuando hay aumento de la temperatura, por ejemplo en la cocción de la pasta, el almidón pierde su rígida integridad estructural y puede absorber una cantidad casi ilimitada de agua. La absorción de agua se acompaña de un aumento en la viscosidad, provocado por el hinchamiento del gránulo y la liberación de material soluble presente en el mismo.

Al calentar el gluten hidratado se forman enlaces cruzados proteína-proteína irreversible que cuando se controlan, estabilizan la estructura y la textura de la pasta cocida (Kill y Turnbull, 2004).

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las pastas forman parte de la alimentación de la población mexicana de diferentes clases sociales, principalmente la población de escasos recursos, sobre todo del medio urbano. Estos productos son consumidos 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. Por otra parte, nuestro país sigue teniendo un alto grado de desnutrición principalmente en zonas urbanas marginadas y regiones indígenas, provocado por la falta de consumo de alimentos con alto valor nutritivo, esto por cuestiones de tipo económico, malos hábitos alimenticios y disponibilidad de tiempo para comer.

El amaranto es un grano con alta calidad nutrimental principalmente por la calidad de su proteína, mientras que el trigo, materia con la que se elabora la pasta, tiene una proteína deficiente, principalmente por lisina aminoácido esencial en la alimentación; el cual el amaranto tiene en cantidades adecuadas, por lo que podrían complementarse.

Por lo tanto, la pasta para sopa es una buena opción para ser utilizada como vehículo para el mejoramiento del nivel nutricional de la población consumidora. Por eso, el poder tener una pasta para sopa a base de amaranto; que es un grano con mayor aporte nutrimental que el trigo; con características de calidad culinaria tan aceptables como una pasta comercial, podría ayudar de manera importante a combatir la desnutrición en nuestro país.

### 3. OBJETIVOS.

#### OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar una formulación para la elaboración de una pasta para sopa que tenga como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto, conservando sus propiedades de calidad culinaria y mejorando su calidad nutrimental.

#### OBJETIVOS PARTICULARES

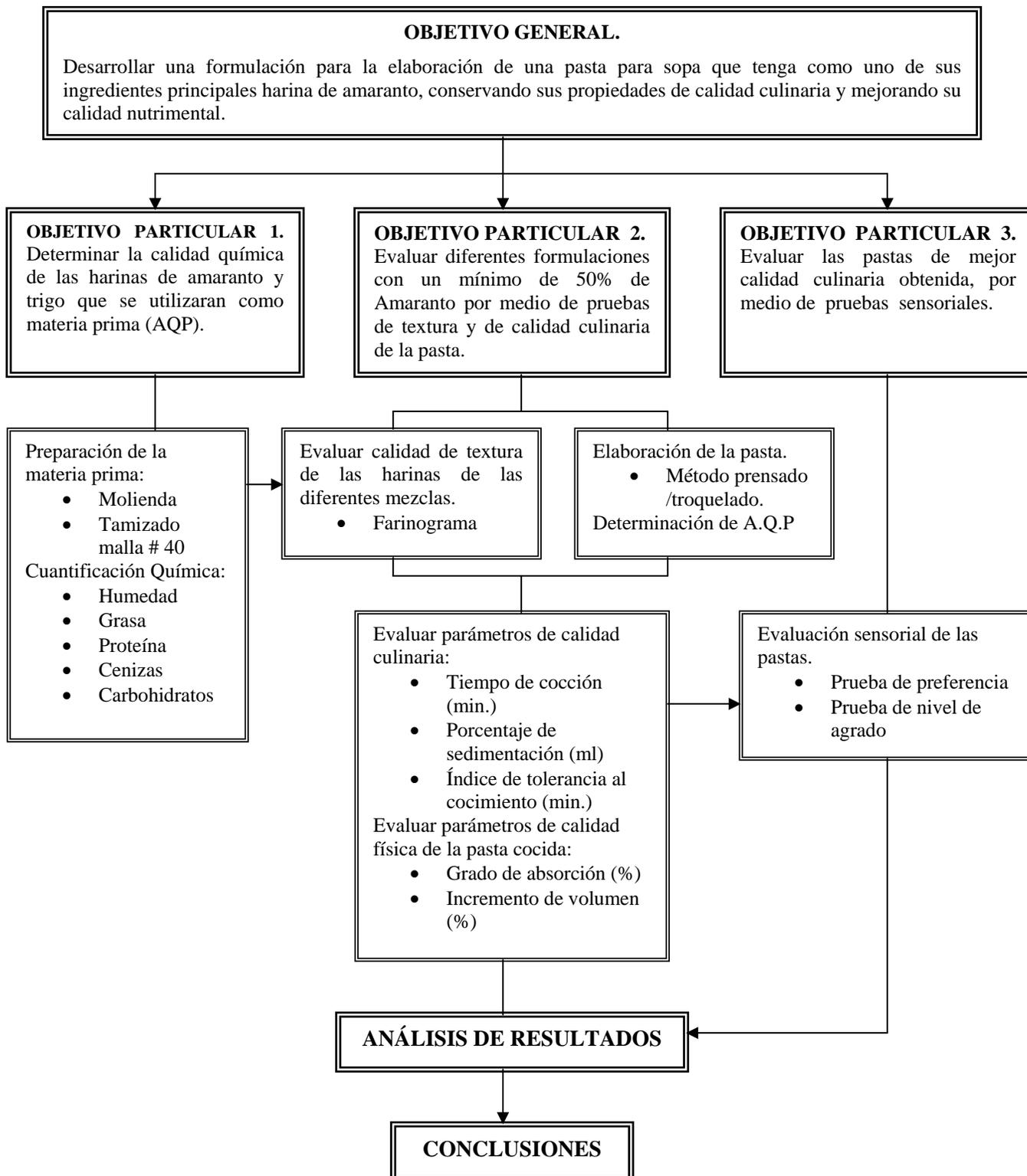
Objetivo Particular 1. Determinar la calidad química de las harinas de amaranto y trigo que se utilizarán como materia prima (AQP).

Objetivo Particular 2. Evaluar diferentes formulaciones con un mínimo de 50% de Amaranto por medio de pruebas de textura y de calidad culinaria de la pasta.

Objetivo Particular 3. Evaluar las pastas de mejor calidad culinaria obtenida, por medio de pruebas sensoriales.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 4.1 Cuadro Metodológico.



**4.2 Preparación de la muestra.** Los granos de trigo y amaranto, fueron sometidos a molienda en un molino de cuchillas marca Arthur H. Thomas Co., Aparatos Científicos, motor ¼ HP de 1725 RPM; y las harinas resultantes se tamizaron por medio de una malla # 40 W.S Tyler, (425µm) (Figura 11), de tal forma que el producto final pudiera tener un tamaño de partícula de 425µm como máximo.



Figura 11. Equipo de molienda y tamices.

**4.3 Análisis Químico.** Se realizó el *Análisis Químico Proximal* a la materia prima [sémola de trigo, harina de amaranto integral (*Amaranthus hypochondriacus* variedades Nutrisol y Huixca) y harina de amaranto reventado] y se determinó humedad, cenizas, lípidos y proteína (N x 5.85) para amaranto y (N x 5.7) para trigo; de acuerdo a los métodos propuestos por la AOAC (1995).

#### 4.3.1 Determinación de humedad.

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por estufa; el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 103 °C, hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% H = [(W_2 - W_3) / W_1] \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso de la muestra (g)

$W_2$  = Peso de la muestra húmeda (g)

$W_3$  = Peso de la muestra seca (g)

#### 4.3.2 Determinación de Extracto Etéreo.

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet; el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de muestra libre de humedad. El solvente

se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble.

$$\% \text{ Grasa extraíble} = [(W_3 - W_2) / W_1] \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso de la muestra (g) antes de la desecación

$W_2$  = Peso del matraz sin grasa (g)

$W_3$  = Peso del matraz con grasa (g)

#### 4.3.3 Determinación de Proteína.

Se determinó el contenido de proteína por el método de Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. Se utilizó un equipo Büchi. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

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

$$\text{Nitrógeno total} = [(V_2 - V_1) (N) (0.014) / W] \times 100;$$

Donde:

$V_1$  = Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)

$V_2$  = Volumen de HCl gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCl

W = Peso de la muestra (g)

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína

Amaranto: 5.85 y Trigo: 5.7

#### 4.3.4 Determinación de Cenizas.

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.

$$\% \text{ Cenizas Totales} = [(W_3 - W_2) / W_1] \times 100$$

Donde:

$W_1$  = Peso de la muestra (g)

$W_2$  = Peso del crisol sin muestra (g)

$W_3$  = Peso del crisol con las cenizas (g)

#### 4.3.5 Determinación de Carbohidratos.

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

#### 4.4 Elaboración de la pasta para sopa.

**4.4.1 Método Prensado/ Troquelado.** Se prepararon lotes de 200g de pasta tipo tallarín de acuerdo a las formulaciones propuestas (Tabla 22).

Tabla 22. Formulaciones de pastas para sopa a base de harina de trigo y amaranto.

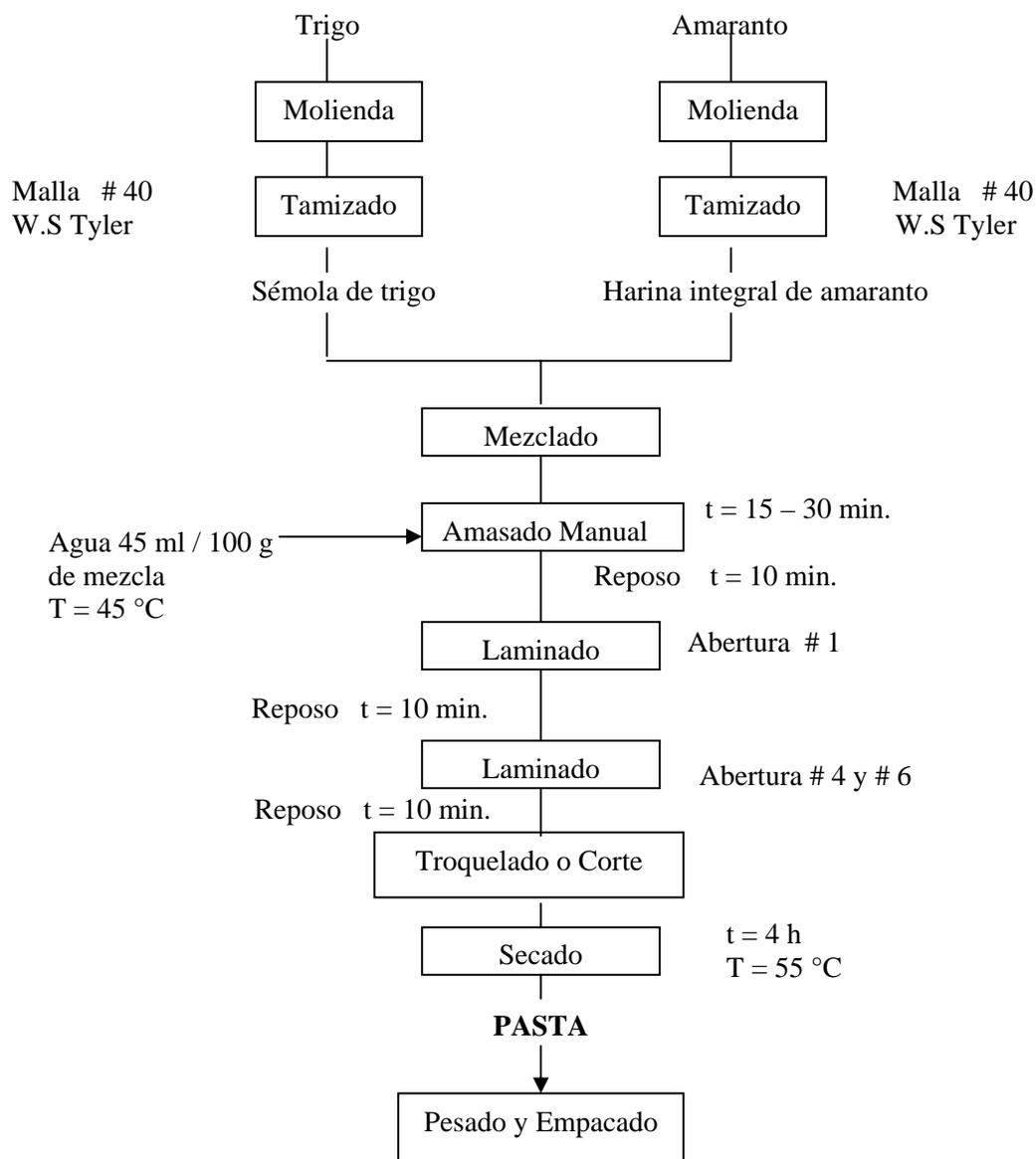
Formulación	1	2	3	4	5	6
Sémola de Trigo (%)	100	0	10	10	20	40
Harina Integral de Amaranto (%)	0	100	90	80	70	50
Gluten (%)	0	0	0	10	10	10
Agua 45°C (ml)	45	45	45	45	45	45

Para todas las formulaciones se siguió el siguiente procedimiento: Se midieron los ingredientes secos y se mezclaron, se le adicionó agua a una temperatura de 45 °C y se amasó. La masa homogénea se dejó reposar y posteriormente se laminó al grosor deseado utilizando una máquina para pasta modelo Atlas 150 de rodillos intercambiables con 9 diferentes niveles de abertura de los rodillos, usando los niveles 1, 4 y 6 y se dejó reposar 10 min. Después se realizó el troquelado o corte. La pasta obtenida se sometió 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 (Figura 12). Se pesó y se empacó. El diagrama de proceso se muestra en la Figura 13. La apariencia del producto final fue de color arena hasta un tono café y un tamaño regular de 0.6cm de ancho. En una segunda etapa, se determinó la Composición Química Proximal de las diferentes pastas elaboradas.



Figura 12. Secado de pasta.

Figura 13. Proceso de Elaboración de Pastas para Sopa a base de Trigo -Amaranto- Gluten



**4.5 Parámetros de Calidad Culinaria de la pasta.** Para determinar la calidad de las pastas, se realizaron las siguientes pruebas: Tiempo Óptimo de Cocción, Porcentaje de Sedimentos e Índice de Tolerancia al Cocimiento (Escamilla, 2001).

#### 4.5.1 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 ponerse pegajosa ni desintegrarse. Debe quedar firme al mordisco, es decir, al “denté”.

Se evaluó pesando 25 g de pasta, los cuales se agregaron a 500 ml de agua en ebullición y después de 5 min., se tomó un trozo de la pasta colocándolo entre dos vidrios oprimiéndola y se observó si tenía núcleos opacos de almidón no gelatinizado, la presencia de puntos en el vidrio es señal de que la pasta no está completamente cocida, por lo que requiere mayor tiempo de cocimiento. La prueba terminó cuando ya no se observaron estos núcleos opacos y se registró el tiempo en minutos, el cual se tomó como *Tiempo de cocción*.

#### **4.5.2 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 sedimentación menor, indica una mayor calidad del gluten y por tanto de la sémola. El agua de cocción debe quedar libre de almidón.

El porcentaje de sedimentación se midió tomando el agua de cocción y mezclando por un minuto con un agitador. Posteriormente se tomaron 100 ml de agua y se colocaron en una probeta de 100 ml, se dejó reposar por 2 h y se leyó el porcentaje de sedimentación que es el equivalente a los mililitros que abarca el sedimento blanco en la probeta.

#### **4.5.3 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. La pasta debe ser resistente al exceso de cocción.

Para determinar el índice de tolerancia al cocimiento se pesaron 25g de pasta y se agregaron a 500 ml de agua en ebullición, la pasta se cuece durante el tiempo óptimo de cocción previamente determinado y se continuó la cocción de la pasta hasta que se observó al menos tres fragmentos de pasta rota y se registró el tiempo que corresponde a su desintegración.

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

$t_1$  = Tiempo de cocimiento de la pasta

$t_2$  = Tiempo de desintegración de la pasta

**4.6 Parámetros de Calidad Física de las pastas cocidas.** Se determinaron el Grado de Absorción y el Incremento del Volumen (Escamilla, 2001). Estas dos pruebas están relacionadas principalmente con

el porcentaje de lesión, 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.

#### 4.6.1 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.

El grado de absorción consistió en pesar 25g de pasta que se cocieron de acuerdo a las condiciones establecidas en el tiempo de cocción, una vez cocida la pasta se colocó en un embudo Buchner y se dejó escurrir la pasta por 10 min., y se pesó.

$$\text{Grado de Absorción (\%)} = [(P_{pc} - P_{ps}) / P_{ps}] \times 100$$

Donde:

$P_{pc}$  = Es el peso de la pasta cocida.

$P_{ps}$  = Es el peso de la pasta seca ó cruda, que corresponde a 25 g

#### 4.6.2 Incremento del Volumen.

Los productos de buena calidad se hinchan de tres a cuatro veces su volumen original ó al menos debe hincharse al doble de su volumen.

El incremento de volumen se cuantificó pesando 50 g de pasta cruda, colocándola en una probeta con 300 ml de agua ( $V_{1ps}$ ) y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de la pasta en el agua ( $V_{2ps}$ ). Se calculó el volumen de la pasta cruda de la siguiente manera:

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

Para determinar el volumen de la pasta cocida, es necesario coser la pasta bajo las condiciones establecidas en el tiempo de cocción, una vez cocida la pasta se colocó en un embudo Buchner y se deja escurrir la pasta por 10 min., se colocó en una probeta con 300 ml de agua ( $V_{1pc}$ ) y se registró el volumen alcanzado por el desplazamiento de la pasta en el agua ( $V_{2pc}$ ). Se calculó el volumen de la pasta cocida de la siguiente manera:

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

Se calculó el Incremento del volumen de la siguiente manera:

$$\text{Incremento del volumen (\%)} = [(V_{pc} - V_{ps}) / V_{ps}] \times 100$$

Donde:

$V_{ps}$  = Volumen de pasta seca o cruda (ml)

$V_{pc}$  = Volumen de pasta cocida (ml)

#### 4.7 Determinación de Calidad de Textura de la harina.

Para conocer las características de textura de las harinas, se prepararon mezclas de amaranto integral, sémola de trigo y gluten aislado de acuerdo con las formulaciones propuestas. Los instrumentos que se emplean comúnmente para medir las características de textura en semolinas son el Farinógrafo y el Mixógrafo (David, 2001; Serna, 1996). El equipo utilizado para este estudio fue el Farinógrafo Brabender (Figura 14).



Figura. 14 Farinógrafo Brabender

Estas pruebas ayudan en la selección de mezcla de harinas, pues explican el comportamiento de estas al someterse al amasado, también auxilian en la selección del tipo y cantidad de aditivos a utilizar; dando un panorama general de la calidad de la masa.

El farinógrafo Brabender, es un reómetro con amasador de medida, el cual mide y registra la resistencia que ofrece la masa durante un mezclado prolongado y suave (esfuerzo mecánico) a una temperatura constante, esto es a 30 °C; obteniéndose una curva llamada farinograma (Figura 15).

Los datos obtenidos de esta curva (esfuerzo-tiempo) son: *a) la capacidad de absorción de agua* que nos indica la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 UF (unidades farinográficas), *b) tiempo de desarrollo* que es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia de la masa, *c) estabilidad* de la masa que significa el tiempo durante el cual la masa mantiene la máxima consistencia y *d) tolerancia al amasado* que indica la caída de la consistencia cinco minutos después del tiempo de desarrollo. Todos estos datos nos permitieron saber la calidad de las harinas, la consistencia y resistencia (en unidades farinográficas) que exhiben estas harinas al ser amasadas a velocidad constante, durante el período de la prueba en el Farinógrafo (David, 2001; Q. Vaglia, 1991 y Serna, 1996).

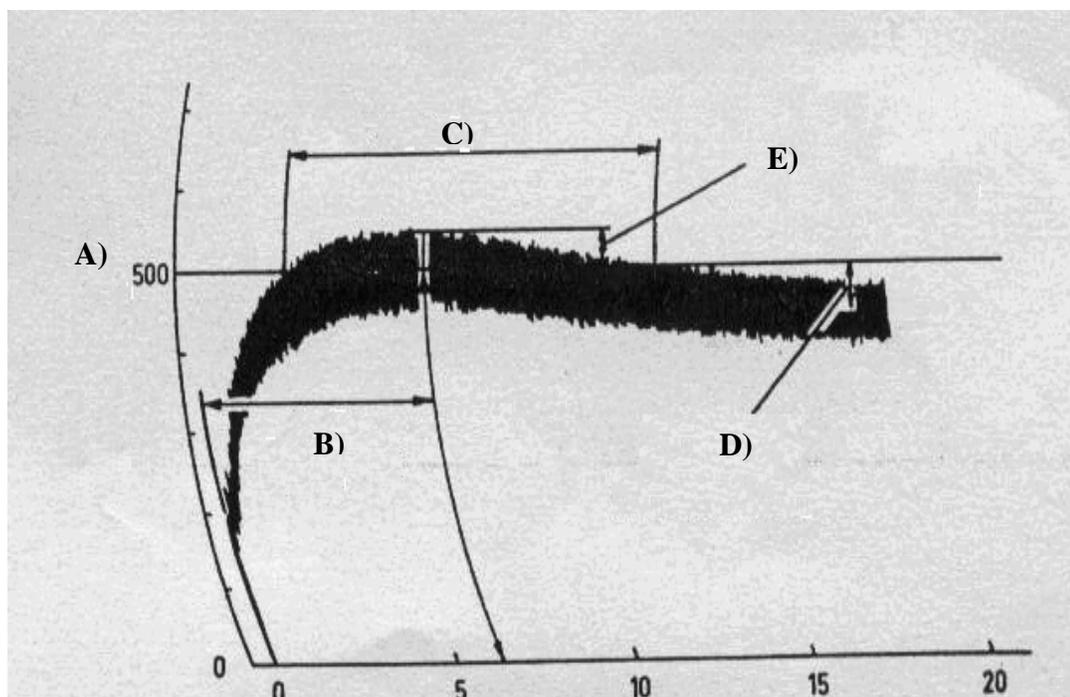


Figura 15. Farinograma. A) Consistencia (UF). B) Periodo de desarrollo (de la masa).  
C) Estabilidad (de la masa). D) Grado de ablandamiento. E) Índice de tolerancia.  
Fuente: David, 2001.

Para realizar las pruebas de textura con el farinógrafo; es necesario primero, 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 este a su vez es un factor importante para la determinación de la consistencia de la masa, la cual debe tener un valor de 500 unidades farinográficas, para que los datos obtenidos del análisis puedan ser interpretados cuantitativamente. Es importante señalar que si la consistencia de la masa no da un valor de 500 UF los datos pueden ser analizados de manera cualitativa.

La explicación anterior es importante porque, si bien se determinaron los contenidos de humedad y proteína de las diferentes formulaciones, para que el programa del farinógrafo pudiera ajustar el porcentaje de absorción de agua de las harinas; cuando se realizaron los análisis, no se ajustó la consistencia de la masa a 500 UF y por lo tanto, se debía repetir la prueba hasta que se ajustara (ensayo-error) siendo este proceso demasiado tardado. Y debido a que el equipo, estaba en uso de manera continua en la empresa que lo facilitó, no fue posible ajustar las diferentes muestras a 500 UF. Además de que las muestras con 100% de amaranto no se podrían ajustar por falta de gluten en el amaranto. Por lo tanto, se decidió mantener constante el contenido de absorción de agua en un valor de 70% para todas las muestras y realizar el análisis de los datos cualitativamente (Anexo 1).

**Procedimiento:**

1. Determinar el contenido de humedad por el método de secado por estufa a 130 °C por 1 hora de la harina por analizar.
2. Encender el equipo e iniciar el programa que controla el farinógrafo.
3. Ingresar los datos de contenido de humedad al sistema y pesar la cantidad de muestra que se indica.
4. Llenar la bureta con agua a 30 °C.
5. Colocar la muestra en el tazón del farinógrafo y correr el equipo por un minuto hasta llegar a la línea del minuto cero. En ese momento empezar a agregar el agua requerida por la harina de acuerdo a su absorción.
6. Cuando se empiece a formar la masa, introducir cuidadosamente por la cubierta plástica del tazón una espátula de plástico para bajar la masa que se encuentra pegada en las paredes.
7. Observar la curva que se esta formando y si esta se centra por encima de las 500 UF, agregar más agua. Cuando no se tiene información sobre los porcentajes de absorción, se hace una determinación por medio de prueba y error. Después de que el agua se ha adicionada, se cubre la caja con la cubierta, para evitar la evaporación del agua. Por cada 20 UF que se desfase la curva de las 500 UF, aumentar o disminuir la absorción de la harina.
8. Para la prueba agregar toda el agua dentro de los primeros 60 segundos después de abrir la llave de la bureta. Dejar correr el equipo hasta obtener la curva para su interpretación.
9. Una vez terminada la corrida se adiciona harina al tazón del aparato y se procede a limpiarlo.

**4.8 Evaluación Sensorial.** Se realizaron dos pruebas sensoriales al producto (Pedrero y Pangbord, 1989); primero se realizó una prueba de preferencia con 86 jueces no entrenados; presentando las diferentes formulaciones de pastas elaboradas. Todas las muestras fueron codificadas previamente a la prueba y se le pidió al juez que probara las pastas y que las fuera ordenando de acuerdo a su preferencia y que contestara un cuestionario (Anexo 2).

También se realizó una prueba de nivel de agrado, a las pastas de mejor calidad culinaria, mejores características de textura y alto porcentaje de aceptación de la prueba de preferencia. El objetivo de la prueba consiste en saber el nivel de agrado o desagrado que provoca una muestra específica. Atributo evaluado: Sabor. Se le pidió al juez que probara la pasta y que contestara el cuestionario. Para esta prueba se utilizó una escala no estructurada, también llamada hedónica (Anexo 5).

Para las dos pruebas sensoriales las pastas evaluadas por los jueces, se prepararon friéndolas en aceite y sazonadas con jitomate, ajo, cebolla y sal.

**4.9 Método Estadístico.** Para el análisis de los resultados se utilizó una prueba de comparación por pares t- student. Todas las pruebas se realizaron por triplicado, obteniéndose promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.1 Pruebas de Calidad Culinaria a Pastas elaboradas con trigo.

Se elaboraron lotes de 200g de pasta tipo tallarín usando sémola de tres diferentes trigos [Dakota of North Spring, Hard Red Winter (DNS y HRW por sus siglas en inglés respectivamente) y Cristalino]. Para poder decidir cual podría ser utilizado como materia prima de las tres variedades de trigo, se sometieron las pastas a diferentes pruebas de calidad culinaria. En los resultados obtenidos se observó (Tabla 23) que entre las pruebas de tiempo óptimo de cocción, incremento de volumen y grado de absorción de las tres pastas, no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). Esto indicó de manera indirecta, que la calidad de las diferentes harinas es similar, es decir, que el tiempo necesario para gelatinizar el almidón y su integridad son similares.

Tabla 23. Pruebas de calidad culinaria realizadas a pastas elaboradas con sémola de diferentes variedades de trigo.

PRUEBA PASTA	TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN (min.)	SEDIMENTOS (%)	GRADO DE ABSORCIÓN (%)	INCREMENTO DE VOLUMEN (%)
Trigo (DNS) malla 40 100%	8 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	184 <sup>a</sup>	350 <sup>a</sup>
Trigo (HRW) malla 40 100%	8 <sup>a</sup>	4 <sup>b</sup>	165 <sup>a</sup>	400 <sup>a</sup>
Trigo (Cristalino) malla 40 100%	9 <sup>a</sup>	2.3 <sup>c</sup>	169 <sup>a</sup>	400 <sup>a</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Por otra parte, aunque el porcentaje de sedimentación fue diferente estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) estos valores no son elevados y además en la observación directa no se presentaron diferencias entre las pastas. Esto es explicable si consideramos que las variedades de trigo DNS y HRW tienen características químicas similares al trigo cristalino, como alto contenido de proteína y calidad del gluten. Por lo tanto, se concluyó que cualquiera de las tres variedades de trigo daría buenos resultados y se podría trabajar con el que estuviera más disponible. Como la idea de este proyecto era la de trabajar a partir del grano para tener mayor control del proceso y se tuvieron mayores facilidades para conseguir el trigo DNS, esta variedad fue la que se decidió utilizar.

## 5.2 Análisis Químico Proximal de la materia prima

Por otra parte, para conocer la composición química de la materia prima y determinar si existían diferencias desde el punto de vista nutrimental, entre las variedades de amaranto, se realizó el análisis químico proximal a la sémola de trigo (DNS) y al amaranto integral (Nutrisol, Huixca y Reventado). El análisis químico proximal confirmó que en general, el amaranto contiene mayor porcentaje de proteína con respecto al trigo (Tabla 24), la cual posee un balance de aminoácidos esenciales que cumple con los requerimientos recomendados para una óptima nutrición humana (FAO/OMS/ONU, 1985) y le da al amaranto una mayor calidad nutrimental sobre el trigo. Por otra parte, de los tres tipos de amaranto analizados se observó que el amaranto reventado y el amaranto de la variedad Huixca tuvieron mayor contenido de proteína que Nutrisol, estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Tabla 24. Análisis Químico Proximal de la materia prima utilizada en la experimentación.

Prueba	% HUMEDAD	% GRASA	% CENIZA	% PROTEÍNA	% CHO'S
Harina Sémola de Trigo (DNS)	11.6246	1.0209	1.3772	17.5782 † a	68.3991
Amaranto Reventado	0.3598	3.1986	2.9160	24.04 ‡ b	69.4856
Amaranto Integral V: Nutrisol	9.5206	5.7706	2.7655	13.5924 ‡ c	68.3509
Amaranto Integral V: Huixca	8.7963	9.1524	3.6462	24.0631 ‡ b	54.3420

†Nx5.7 ‡Nx5.87. Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ )

Con base en el análisis químico proximal, se pudo concluir que de los tres amarantos el de mejor calidad nutrimental fue el de la variedad Huixca, no solo por su alto contenido de proteína, sino porque tiene mayor cantidad de grasa, la cual contiene un alto porcentaje de ácidos grasos esenciales (Paredes, 2001) y además tiene mayor contenido de minerales que las otras variedades de amaranto.

## 5.3 Prueba de Calidad Culinaria de pastas elaboradas con Amaranto.

Para determinar la variedad de amaranto con la que se iba a trabajar y complementar con los resultados obtenidos del AQP, se elaboraron pastas al 100% de cada uno de los amarantos y se evaluaron mediante pruebas de calidad culinaria, tomando como control la pasta elaborada con trigo (DNS). En la Tabla 25, se presentan los resultados obtenidos de la prueba; donde se observó que las pastas de amaranto reventado aunque tuvieron un tiempo de cocción similar a las otras variedades, en la práctica, no toleraron la cocción pues al ser colocadas en agua en ebullición, comenzaron a desintegrarse y por

eso tuvieron un desprendimiento de sólidos mayor que las otras pastas. También por esta causa, no hubo un incremento de volumen y el grado de absorción fue muy bajo. Estos resultados, pueden explicarse por que el amaranto reventado al ser sometido a un calentamiento pudo dañarse su almidón y perder su capacidad para absorber agua; además de perder la capacidad cohesiva, que junto con las proteínas permiten que la pasta mantenga su textura.

Tabla 25. Pruebas de Calidad Culinaria realizadas a pastas elaboradas con diferentes tipos de amaranto.

PASTA	PRUEBA	TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN (min.)	SEDIMENTOS (%)	INDICE DE TOLERANCIA AL COCIMIENTO (min.)	GRADO DE ABSORCIÓN (%)	INCREMENTO DE VOLUMEN (%)
Sémola de Trigo (DNS) 100%		8 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	184 <sup>a</sup>	350 <sup>a</sup>
Amaranto Integral (Huixca) 100 %		6 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	180 <sup>a</sup>	271 <sup>b</sup>
Amaranto Integral (Nutrisol) 100 %		6 <sup>b</sup>	5 <sup>a</sup>	5 <sup>c</sup>	150 <sup>b</sup>	150 <sup>c</sup>
Amaranto Reventado 100 %		6 <sup>b</sup>	7 <sup>b</sup>	4 <sup>d</sup>	19 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

La pasta de amaranto de la variedad Nutrisol presentó una mejor apariencia que la de amaranto reventado; no pierde tanto la forma y su tamaño al ser colocada en el agua de cocción; aunque su tolerancia al cocimiento fue baja (5min.) y no presentó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el tiempo óptimo de cocción con respecto a las otras dos pastas. Su grado de absorción e incremento de volumen fueron bajos con respecto al control. En cuanto a la pasta de amaranto de la variedad Huixca, fue la que mejores características culinarias presentó ya que el porcentaje de sólidos desprendidos es menor a la pasta de sémola de trigo, tiene una regular tolerancia al cocimiento (10min.) y su apariencia es buena, solo que su consistencia fue un poco débil, lo cual era esperado por su falta de gluten. El grado de absorción no presentó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto al control, lo que indica un buen estado de su almidón. Con base en las características culinarias de los tres amarantos, se tomó la decisión de trabajar con la variedad Huixca, ya que fue el que mejores resultados presentó y además fue el de mejor calidad nutrimental. Es importante señalar que la pasta elaborada con amaranto Huixca, aunque fue la de mejor textura entre los tres amarantos, esta es deficiente, comparada con una pasta comercial. Por lo tanto, se consideró realizar mezclas con

harina de trigo para mejorar la textura y además de que permitiría complementar la calidad nutrimental de la pasta.

#### 5.4 Pruebas de Textura de las diferentes formulaciones de harinas.

Para mejorar la calidad culinaria de la pasta fue necesario combinar sémola de trigo con el amaranto, para que ayudara a mejorar la consistencia de las pastas, haciéndolas más estables, fuertes y cohesivas. Pero como la formulación debía tener como mínimo un 50% de amaranto, para que pudiera aumentar la calidad nutrimental del producto final; se decidió agregar gluten aislado de trigo, que es el principal responsable de mantener una textura adecuada en las pastas y así poder mantener altos los porcentajes de amaranto en la formulación.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 26) se observó que las formulaciones con 100% y 90% de Amaranto no logran desarrollar una masa con la consistencia adecuada. Seguramente por esto, en todos los parámetros evaluados fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) al control, esto debido probablemente a la baja cantidad de gluten y la ausencia de trigo en estas formulaciones, pues son los componentes químicos que le dan consistencia a la masa.

La formulación con 50% de Amaranto tuvo una consistencia alta y en general, los resultados fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) al control. La masa obtenida con esta formulación fue más fuerte que el control probablemente por su mayor contenido de gluten (gluten aislado que se le agregó junto con el gluten que aporta el trigo).

Tabla 26. Resultados de pruebas de textura de las diferentes formulaciones de harinas empleadas en la elaboración de pastas.

HARINA	Máxima Consistencia UF	Tiempo de desarrollo MIN.	Estabilidad MIN.	Índice de tolerancia (MTI) UF	Tiempo de ruptura MIN.
TRIGO 100%	548 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>
AMARANTO 100%	310 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	60 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>
AMARANTO/GLUTEN 90-10%	394 <sup>c</sup>	2.7 <sup>c</sup>	8.3 <sup>c</sup>	9 <sup>c</sup>	3.1 <sup>b</sup>
AMARANTO/TRIGO/GLUTEN 80-10-10%	506 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	5.0 <sup>af</sup>	33 <sup>a</sup>	10.3 <sup>a</sup>
AMARANTO/TRIGO/GLUTEN 70-20-10%	575 <sup>a</sup>	2.0 <sup>d</sup>	4.7 <sup>df</sup>	51 <sup>d</sup>	9.8 <sup>a</sup>
AMARANTO/TRIGO/GLUTEN 50-40-10%	674 <sup>d</sup>	5.7 <sup>a</sup>	3.5 <sup>e</sup>	75 <sup>e</sup>	7.3 <sup>c</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Las formulaciones con mejores características de textura, al ser comparadas con el control fueron las de 80% y 70% de amaranto, específicamente la primera, donde todos sus parámetros evaluados fueron estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) iguales al control, por lo que podría ser la mejor formulación (Anexo 1).

Pero considerando que estas pruebas se realizaron sin obtener el grado óptimo de absorción de agua para cada formulación, sino que a todas se les agregó el mismo porcentaje de agua, como se explicó en la metodología, se decidió pasar a las pruebas de calidad culinaria de las pastas elaboradas con las diferentes formulaciones, para que con más elementos se pudiera decidir cual sería la mejor.

### 5.5 Pruebas de Calidad Culinaria de pastas elaboradas con las diferentes formulaciones.

Se probaron las diferentes formulaciones (Tabla 27) para evaluar la calidad culinaria de las pastas y se tomó como referencia o control los datos obtenidos de la calidad culinaria de la pasta 100% trigo (DNS). En los resultados, se observó que no existió diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el grado de absorción entre las diferentes formulaciones.

Tabla 27. Pruebas de Calidad Culinaria realizadas a pastas elaboradas con diferentes concentraciones de Amaranto, Gluten aislado de trigo y Trigo.

PASTA	PRUEBA	TIEMPO ÓPTIMO DE COCCIÓN (min.)	SEDIMENTOS (%)	INDICE DE TOLERANCIA AL COCIMIENTO (min.)	GRADO DE ABSORCIÓN (%)	INCREMENTO DE VOLÚMEN (%)
Sémola de Trigo (DNS) 100%		8 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	184 <sup>a</sup>	350 <sup>a</sup>
Amaranto (Huixca) 100 %		6 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	180 <sup>a</sup>	271 <sup>b</sup>
Amaranto /Trigo 90-10 %		6 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	6 <sup>c</sup>	176 <sup>a</sup>	150 <sup>c</sup>
Amaranto/Trigo/Gluten 80-10-10 %		7 <sup>ab</sup>	5 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	166 <sup>a</sup>	150 <sup>c</sup>
Amaranto/Trigo/Gluten 70-20-10 %		8 <sup>a</sup>	6 <sup>b</sup>	23 <sup>a</sup>	158 <sup>a</sup>	150 <sup>c</sup>
Amaranto/Trigo/Gluten 50-40-10 %		9 <sup>a</sup>	3 <sup>c</sup>	38 <sup>d</sup>	160 <sup>a</sup>	150 <sup>c</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Se encontró que la pasta con 50% de amaranto tiene el menor porcentaje de sedimentación; es decir, se desmorono menos; pero su apariencia es muy dura y gomosa; confirmando lo que se había observado en las pruebas de textura, que tiene una consistencia más dura que el control. Las pastas 90 y 100%

amaranto presentaron el tiempo de cocción y tolerancia al cocimiento más bajo, es decir su consistencia fue débil y sin firmeza, además su apariencia fue mala. Las pastas que mejor apariencia presentaron fueron las formulaciones con 70 y 80 % amaranto, ya que se observaron firmes y poco pegajosas, no pierden forma al ser puesta en el agua de cocción y no presentan diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en tiempo óptimo de cocción con respecto al control.

Por lo tanto, las pastas con mejores resultados fueron, como en las pruebas de textura, las formulaciones con 70 y 80% de amaranto, pues tuvieron resultados de tiempo óptimo de cocción, índice de tolerancia y grado de absorción estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) iguales al control. Estas dos formulaciones no perdieron la forma al ser cocidas, además su porcentaje de sedimentación fue bajo. Lo que están indicando estos resultados es que el porcentaje de gluten aislado y el trigo están siendo suficientes para mantener cohesionada la pasta y que el almidón del amaranto es adecuado para darle una textura y apariencia firme y no pegajosa a la pasta.

Por lo tanto, con base en estos resultados, complementados con las pruebas de textura se decidió que las mejores formulaciones fueron las de 80% de amaranto seguida de la de 70%. Una vez que se decidió que estas dos pastas fueron las mejores, tanto en apariencia como en textura, solo faltaba evaluar que opinión tendrían los posibles consumidores con respecto al sabor y si aceptarían estas pastas.

## 5.6 Evaluación Sensorial.

### 5.6.1 Prueba de Preferencia.

Se realizó una prueba de preferencia a las pastas elaboradas con las cinco formulaciones de amaranto, para determinar el nivel de aceptación por parte del consumidor (Anexo 3). Los resultados indicaron que no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre ellas pero si existió una mayor preferencia por las pastas elaboradas con 80% y 70% de amaranto (Tabla 28).

Tabla 28. Evaluación sensorial aplicada a las cinco diferentes formulaciones de amaranto mediante una prueba de preferencia usando el método de ordenamiento por rango.

PASTA	CALIFICACIÓN
Amaranto 100%	240 <sup>a</sup>
Amaranto-Gluten 90-10%	250 <sup>a</sup>
<b>Amaranto-Trigo-Gluten 80-10-10%</b>	<b>275<sup>a</sup></b>
<b>Amaranto-Trigo-Gluten 70-20-10%</b>	<b>265<sup>a</sup></b>
Amaranto-Trigo-Gluten 50-40-10%	260 <sup>a</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Como parte de la prueba, también se le pidió al juez (Figura 16) que anotara un breve comentario del por que de su decisión; y el resultado fue que las pastas que mejor sabor tenían fueron las elaboradas con 70 y 80% de amaranto con un 47.6 y 42.9% de opiniones positivas respectivamente, seguida de la pasta elaborada con 50% de amaranto con un 26% y la que mejor consistencia presentó con un 23.8% de comentarios en este sentido fue la pasta con 70% de amaranto.



Figura 16. Prueba Sensorial de Preferencia.

Mientras que, para las otras pastas los comentarios fueron en su mayoría negativos, por ejemplo, las pastas que definitivamente no gustaron fueron las elaboradas con 90 y 100% de amaranto ya que recibieron un 70.6% y 78.8 % respectivamente de comentarios negativos y por lo tanto quedaron descartadas (Anexo 4).

Por lo tanto, lo que se interpreto de la prueba es que, aunque estadísticamente no hay diferencia entre las formulaciones, la preferencia del consumidor fue mayor por las pastas elaboradas con 70 y 80% de amaranto; pero todavía se tenía que escoger entre alguna de las dos formulaciones, por lo que se evaluó cual de las dos tenía el mayor nivel de agrado entre los consumidores.

### 5.6.2 Prueba de Nivel de Agrado.

El resultado de esta prueba indicó que el sabor de la pasta fue aceptado por un 59.30% de los jueces afectivos y la calificación promedio obtenida fue de 6.34 para la pasta elaborada con 80% de amaranto mientras que, la pasta con 70% de amaranto fue aceptada por un 73.25% de los jueces afectivos y la calificación promedio obtenida fue de 7.42. (Tabla 29). Estos resultados fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ), siendo la pasta con 70% de amaranto la que más agrado al consumidor.

Tabla 29. Evaluación Sensorial aplicada a dos diferentes formulaciones de amaranto mediante una prueba de nivel de agrado.

PASTA	# DE JUECES	CALIFICACIÓN	% DE ACEPTACIÓN
Amaranto-Trigo-Gluten 80-10-10%	86	6.34 <sup>a</sup>	59.30 <sup>a</sup>
Amaranto-Trigo-Gluten 70-20-10%	86	7.42 <sup>b</sup>	73.25 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). (Anexo 6 y 7)

Con esto podemos concluir que, aunque la pasta con 80% de amaranto tuvo siempre mejores características de calidad culinaria y de textura que la formulación con 70%, aunque estadísticamente fueron iguales, no fue la más agradable al consumidor, esto muy probablemente se debió a una percepción mayor del sabor característico del amaranto, pues aunque no es desagradable sabe diferente y normalmente la gente tiende a rechazar sabores nuevos. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la formulación de 70% amaranto fue aceptable por su calidad culinaria, características de textura y por

supuesto por el consumidor, se decidió que era la mejor formulación para elaborar la pasta; pero no se descarta la posibilidad de usar la formulación con 80% de amaranto.



Figura 17. Prueba sensorial de Nivel de Agrado.

## 6. CONCLUSIONES.

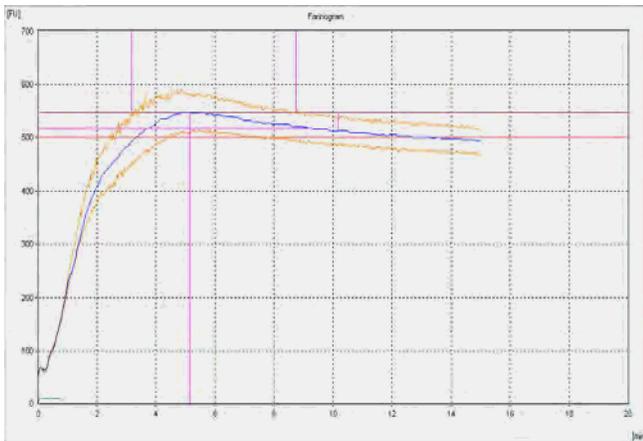
- Para la elaboración de pastas alimenticias la materia prima principal es Trigo *durum o cristalino*, pero de acuerdo al estudio realizado podemos concluir que se obtienen buenos resultados con otros trigos duros, como por ejemplo: Trigo de Primavera de Dakota del Norte y Trigo Duro de Invierno.
- El tipo de amaranto influye directamente en la calidad culinaria de la pasta.
- Se logró sustituir a la sémola de trigo por harina de amaranto de la variedad Huixca hasta en un 80%, en la elaboración de pasta para sopa tipo tallarín con buenas características culinarias y de textura, aunque también se obtuvieron buenos resultados con la formulación de 70% de amaranto.
- El porcentaje de aceptación del sabor de la pasta elaborada con 80% de amaranto fue menor que el de la formulación con 70%.
- La formulación recomendada para elaborarse en el laboratorio fue la que contiene 70% de amaranto-20% de trigo-10% de gluten aislado de trigo, por que preferimos bajar un poco el contenido de amaranto y disminuir el riesgo de que sea rechazada por el consumidor.
- Finalmente, podemos decir que obtuvimos un producto con un mejor valor nutrimental, debido a un buen contenido de proteína y adecuado balance de aminoácidos del grano de amaranto y podemos decir que este producto representa una buena opción para mejorar la dieta de la población y podría ayudar de manera importante a disminuir la desnutrición en nuestro país.

## **7. RECOMENDACIONES.**

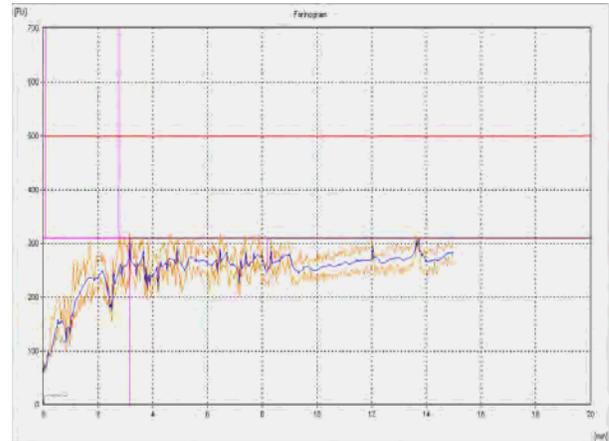
- Se recomienda realizar el análisis de Perfil de Aminoácidos y Relación de Eficiencia Proteica (PER) a la sopa elaborada en este trabajo.
- También sería importante realizar la planeación de una microempresa para desarrollar el producto.
- Explorar la posibilidad de cultivar el amaranto por métodos como la hidroponía para poder tener disponible la materia prima.

## 8. ANEXO 1

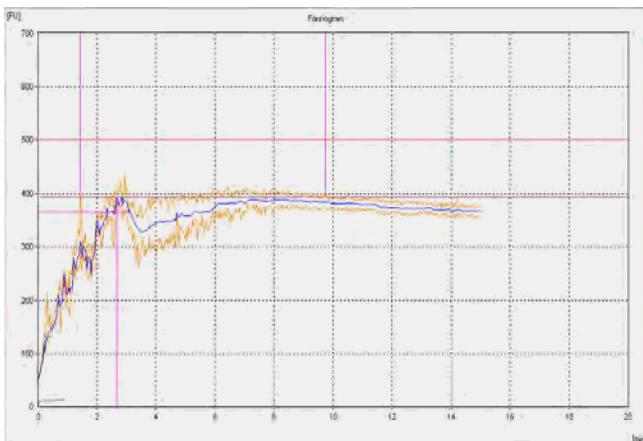
### I. Farinogramas de mezclas al 70% de absorción de agua.



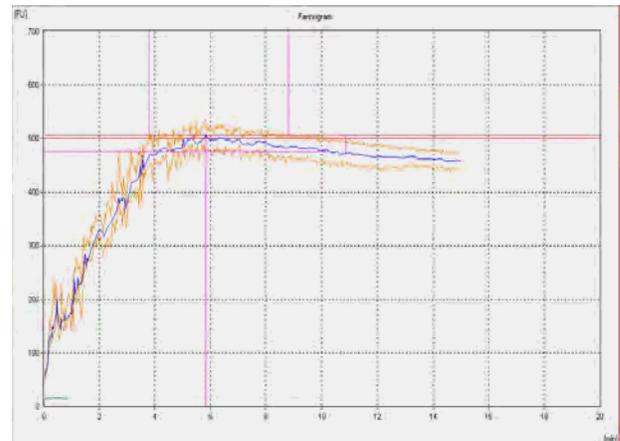
Trigo 100%



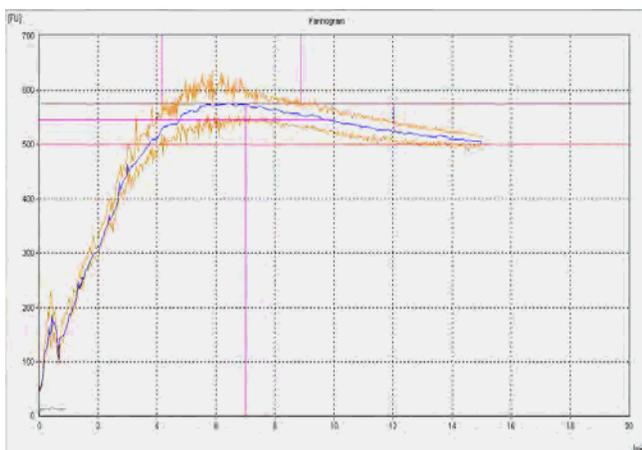
Amaranto 100%



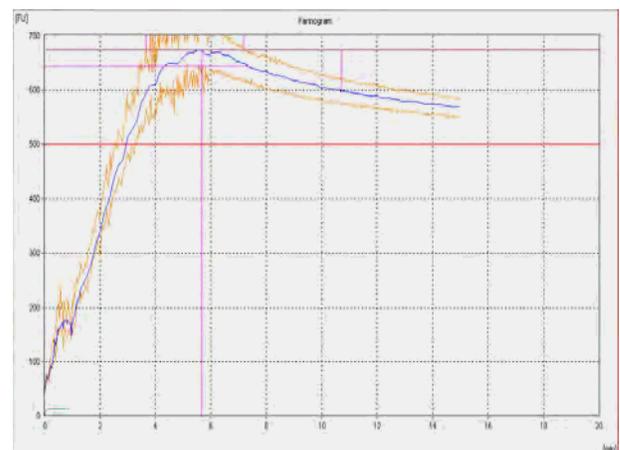
Amaranto-Gluten 90-10%



Amaranto- Trigo-Gluten 80-20-10%



Amaranto-Trigo-Gluten 70-20-10%



Amaranto-Trigo-Gluten 50-40-10%

---



---

**ANEXO 2**

I. Cuestionario presentado en la prueba de Preferencia.

**PASTA.**

**EDAD:** \_\_\_\_\_ **SEXO:** H M **FECHA:** \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 4, considerando que 1= es la que menos gusta y 4= es la que más gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente porqué tomo esa decisión.

MUESTRAS      100              811              712              514              910

VALOR          \_\_\_\_\_          \_\_\_\_\_          \_\_\_\_\_          \_\_\_\_\_          \_\_\_\_\_

¿POR QUÉ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **¡GRACIAS!**

II. Codificación de las muestras utilizada en la prueba.

MUESTRA	CLAVE
AMARANTO 100 %	100
AMARANTO/ GLUTEN 90-10 %	910
AMARANTO/ TRIGO/ GLUTEN 80-10-10 %	811
AMARANTO/ TRIGO/ GLUTEN 70-20-10 %	712
AMARANTO/ TRIGO/ GLUTEN 50-40-10 %	514

## ANEXO 3

## I. Resultados del Análisis Sensorial de Preferencia.

Relación de la sumatoria de los rangos para cada muestra.

Juez (n)	100	811	712	514	910
1	3	1	5	2	4
2	3	4	5	2	1
3	2	4	5	1	3
4	2	4	5	3	1
5	2	4	5	3	1
6	2	4	5	3	1
7	2	4	5	3	1
8	2	3	5	4	1
9	1	4	5	2	3
10	1	2	5	4	3
11	1	4	5	3	2
12	1	4	5	3	2
13	4	2	5	3	1
14	4	3	5	1	2
15	4	3	5	1	2
16	4	3	5	2	1
17	5	2	4	3	1
18	5	3	4	2	1
19	5	3	4	2	1
20	3	2	4	1	5
21	3	2	4	1	5
22	3	1	4	2	5
23	3	5	4	1	2
24	2	5	4	1	3
25	2	1	4	5	3
26	2	5	4	3	1
27	2	5	4	3	1
28	2	3	4	5	1
29	1	5	4	2	3
30	1	2	4	5	3
31	1	5	4	3	2
32	1	5	4	3	2
33	1	5	4	3	2
34	1	3	4	2	5
35	1	3	4	2	5
36	1	3	4	5	2
37	1	3	4	5	2
38	1	3	4	5	2
39	4	1	2	3	5
40	4	1	2	3	5
41	4	1	2	5	3

42	4	1	2	5	3
43	4	5	2	1	3
44	1	3	2	5	4
45	1	3	2	4	5
46	1	3	2	4	5
47	1	4	2	3	5
48	1	4	2	3	5
49	1	4	2	5	3
50	1	5	2	4	3
51	3	1	2	5	4
52	3	1	2	4	5
53	3	1	2	4	5
54	3	4	2	1	5
55	5	3	2	1	4
56	5	4	2	3	1
57	5	4	2	1	3
58	5	2	3	1	4
59	5	4	3	2	1
60	5	4	3	2	1
61	5	4	3	2	1
62	2	5	3	1	4
63	1	4	3	2	5
64	1	2	3	4	5
65	1	2	3	5	4
66	1	2	3	5	4
67	1	2	3	5	4
68	1	5	3	4	2
69	4	1	3	5	2
70	4	1	3	5	2
71	4	5	3	2	1
72	4	5	3	2	1
73	5	4	1	2	3
74	5	4	1	2	3
75	5	2	1	4	3
76	5	2	1	4	3
77	5	2	1	3	4
78	5	4	1	3	2
79	5	3	1	2	4
80	3	4	1	2	5
81	3	2	1	4	5
82	3	5	1	2	4
83	3	4	1	5	2
84	2	4	1	5	3
85	4	5	1	2	3
86	4	2	1	5	3
<b>Σ</b>	<b>240</b>	<b>275</b>	<b>265</b>	<b>260</b>	<b>250</b>

## ANEXO 4

## I. Descriptores de la Prueba de Preferencia que emitió el juez.

DESCRIPTORES / PASTA	100 % A	90-10% A-G	80-10-10% A-T-G	70-20-10% A-T-G	50-40-10% A-T-G
Mejor sabor.	0	5.9	42.9	47.6	26
Sabe a una pasta comercial.	5.3	5.9	4.8	4.8	15.4
Mejor textura.	0	5.9	0	4.8	7.7
Mejor consistencia.	0	5.9	15	23.8	11.5
Consistencia suave.	5.3	0	9.5	4.8	7.7
Se desintegra.	5.3	0	0	0	0
Se siente pastosa.	5.3	0	4.8	4.8	3.8
Se siente correosa.	5.3	17.6	0	0	0
Se siente granulosa.	15.7	5.9	4.8	0	3.8
Demasiado áspera.	15.7	0	0	0	0
Se ve muy oscura.	5.3	0	0	0	0
Sabe a tierra.	0	5.9	0	4.8	3.8
Sabe a amaranto.	0	0	0	0	3.8
Sabe a galleta.	5.3	0	4.8	4.8	3.8
Sabe amargo.	15.7	5.9	0	0	3.8
Sabe a tortilla.	0	11.8	4.8	0	0
Sabe a medicamento.	0	5.9	0	0	0
Sabe mal o feo.	10.5	11.8	0	0	7.7
No tiene sabor.	5.3	23.5	9.2	0	3.8
Total (%)	100	100	100	100	100

A = amaranto Huixca. T = trigo DNS. G = gluten aislado. Reportado en porcentaje.

**ANEXO 5**

I. Cuestionario presentado en la prueba de Nivel de Agrado.

**PASTA.**

**EDAD:** \_\_\_\_\_ **SEXO:** M H **FECHA:** \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Pruebe la sopa y sobre la línea indique con una X su nivel de agrado. En el espacio de abajo, explique brevemente porqué tomo esa decisión.

**ESCALA**

DISGUSTA  
MUCHO

ES  
INDIFERENTE

GUSTA  
MUCHO

\_\_\_\_\_

-5

0

5

¿POR QUÉ?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **¡GRACIAS!.**

## ANEXO 6

## I. HOJA DE VACIADO DE DATOS

Prueba de Nivel de Agrado para la pasta 70 amaranto-20 trigo-10 gluten %.

Escala de Calificación: -5= DISGUSTA MUCHO A 5= GUSTA MUCHO

Para traducir de 0 a 10 centímetros.

JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN
1	10	30	8.5	59	6.5
2	10	31	8.4	60	6.3
3	10	32	8.3	61	6.2
4	10	33	8.3	62	6
5	10	34	8	63	6
6	10	35	8	64	5.8
7	10	36	8	65	5.8
8	10	37	8	66	5.2
9	10	38	8	67	5.2
10	10	39	7.8	68	5.2
11	10	40	7.8	69	5
12	10	41	7.7	70	5
13	10	42	7.7	71	5
14	10	43	7.7	72	5
15	10	44	7.7	73	5
16	10	45	7.5	74	5
17	10	46	7.4	75	5
18	10	47	7.2	76	5
19	10	48	7	77	5
20	10	49	7	78	5
21	10	50	7	79	5
22	10	51	7	80	5
23	9.8	52	6.8	81	4.8
24	9.5	53	6.8	82	4.3
25	9	54	6.8	83	4
26	9	55	6.6	84	4
27	9	56	6.5	85	2
28	9	57	6.5	86	0
29	9	58	6.5	-----	-----

SUMATORIA: 638.1

PROMEDIO: 7.42

% DE ACEPTACIÓN: 73.25

## ANEXO 7

## I. HOJA DE VACIADO DE DATOS

Prueba de Nivel de Agrado para la pasta 80 amaranto-10 trigo-10 gluten %.

Escala de Calificación: -5= DISGUSTA MUCHO A 5= GUSTA MUCHO

Para traducir de 0 a 10 centímetros.

JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN
1	10	30	7.5	59	5
2	10	31	7.3	60	5
3	10	32	7.3	61	5
4	10	33	7.3	62	5
5	10	34	7.2	63	5
6	10	35	7	64	5
7	10	36	7	65	5
8	10	37	7	66	5
9	10	38	7	67	5
10	10	39	7	68	5
11	10	40	6.6	69	5
12	10	41	6.5	70	5
13	10	42	6.5	71	4.5
14	10	43	6.4	72	4
15	10	44	6.3	73	4
16	10	45	6.2	74	4
17	9	46	6	75	3.7
18	8.7	47	6	76	3
19	8.6	48	6	77	2.5
20	8.5	49	6	78	2.2
21	8.5	50	6	79	2.4
22	8.4	51	6	80	2.4
23	8.1	52	5.8	81	2.4
24	8	53	5.5	82	0.5
25	8	54	5	83	0
26	8	55	5	84	0
27	8	56	5	85	0
28	8	57	5	86	0
29	7.5	58	5	-----	-----

**SUMATORIA:** 545.3

**PROMEDIO:** 6.34

**% DE ACEPTACIÓN:** 59.30

## 9. BIBLIOGRAFIA.

- A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunnif, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- Aphalo P., Castellani O.F., Martínez E.N. y Añón M.C. 2004. Surface Physicochemical Properties of Globulin-P Amaranth Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52 (3): 616-622.
- Barba de la Rosa A., Paredes-López O. y Gueguen O. 1992. Fractionation produres, electrophoretic characterization and amino acid composition of Amaranth seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (6): 931-936.
- Barba de la Rosa A, Paredes-López O y Gueguen O. 1992. Fractionation produres, characterization of Amaranth globulins by ultracentrifugation and chomatographic techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (6): 937-940.
- Becerra Rosalba. 2000. El Amaranto. *Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el conocimiento de la Biodiversidad*. 5 (30): 1-6.
- Belitz H.D y Grosch W. 1997. *Química de los Alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Bressani Ricardo.1989. The proteins of the grain Amaranth. *Foods Reviews International* 51: 1338. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Bressani Ricardo y García-Vela Luis Alfredo. 1990. Protein fractions in Amaranth grain and their Chemical Characterización. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.38 (5): 1205-1209
- Búcaro Segura María Ester y Bressani Ricardo. 2002. Distribución de la proteína en fracciones físicas de la molienda y tamizado del grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 52 (2): 167-171.
- Calaveras Jesús. 2004. *Nuevo Tratado de Panificación y Bollería*. AMV Ediciones. Madrid, España. Segunda Edición.
- Casillas G. F. 1986. Importancia de la semilla. *Primer Seminario Nacional del Amaranto*. Chapingo, México. 289-299. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Charley Helen. 2000. *Tecnología de Alimentos, Procesos Químicos y Físicos en la preparación de alimentos*. Ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega, México
- Collazos.C. 1975. *La composición de los alimentos peruanos*: Ministerio de Salud, Quinta Edición. Lima. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Counders A. 1996. *Química Culinaria*, Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España.

- David A. V. Dendy. 2001. Cereales y productos derivados. Química y Tecnología. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Desrosier Norman W. 1989. Elementos de Tecnología de Alimentos. Ed. Continental. México.
- Escamilla Estrada Alma. 2001. Métodos para evaluar la calidad de trigos cristalinos (*Triticum durum*), semolinas y pastas alimenticias. Tesis. Facultad de Química, UNAM.
- FAO/OMS/ONU. 1985. Necesidades de energía y proteínas. OMS, Ginebra. Serie de Informes Técnicos No. 724
- Fennema R. Owen. 1993. Química de los Alimentos. Segunda edición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- García L. A., Alfaro M. A. y Bressani R. 1987. Digestibility and nutritional-value of crude-oil from three amaranth species. J Amer. Oil Chem. Soc. 64: 371-375. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Han-Ping He y Corke Harold. 2003. Oil and Squalene in Amaranthus Grain and Leaf. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51 (27): 7913-7920.
- Hosney R. Carl. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 2006. Encuesta Industrial Mensual. <http://dgenesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdientsi.exe/Consultar>
- Irving, D.W., Betschart A. A. y Saunders R.M. 1981. Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. J. Foods Science 46: 1170-1173. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Kill R. C. y Turnbullk. 2004. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Matz Samuel A. 1991. The Chemistry and Techology of Cereals as Food and Feed. Editorial Avi Book, Estados Unidos. Segunda edición.
- Mújica Sánchez Ángel, Berti Díaz Marisol e Izquierdo Juan. 1997. El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. FAO, Oficina Regional para América Latina y el caribe. <http://www.rlc.Fao.org/prior/segalim/prodalim/producg/cdrom/contenido/libro01/home/-htm>
- Necoechea, M.H., Camacho, J. L. 1983. Pastas para sopa de valor nutritivo mejorado a base de una mezcla trigo – soya. Tecnología de Alimentos (Méx.). 3 (18) 7-11.

- Nieto, C. 1990. El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea No. 52 Quito, Ecuador. Citado por: Mújica *et al*, 1997.
- Norma Oficial Mexicana. Salud ambiental. Agua para uso humano limites permisibles de calidad y tratamientos a que se bebe someterse el agua para su potabilización. NOM-127-SSA1-1994.
- Norma Oficial Mexicana. Bienes y Servicios. Practicas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. NOM-093-SSA1-1994.
- Norma Oficial Mexicana. Alimentos para humanos. Harina de trigo. NMX-F-007-1982.
- Norma Oficial Mexicana. Pastas de harina de Trigo y / o Semolina para sopa y sus variedades. NMX- F-023-S-1980.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1970. Contenido en Aminoácidos de los Alimentos y Datos Biológicos sobre las Proteínas. FAO: Estudios sobre nutrición. No. 24. Roma.
- Paredes López, O., Barba de la Rosa A. P., Hernández D. y Carabez A. [s/f]. Amaranto. Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washinton, D.C.
- Paredes López Octavio. 2001. De ofrenda de los dioses a cultivo olvidado, Alimentos mesoamericanos: el amaranto. [www.jornada.unam.mx/2001/oct01/011022/cien-paredes.html](http://www.jornada.unam.mx/2001/oct01/011022/cien-paredes.html).
- Pedrero F. Daniel L. y Pangbord Rose Marie. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos, Métodos Analíticos. Ed. Alambra Mexicana, S.A. de C.V. Primera Edición.
- Primo Yúfera E. 1987. Química Agrícola III. Alimentos. Ed. Alhambra. Madrid, España.
- Q Vaglia Giovanni. 1991. Ciencia y Tecnología de la Panificación. Ed. Acribia S.A., Zaragoza España.
- Rayas-Duarte P., Mock C. M. y Satterlee L D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours. Cereal Chemistry. 73 (3): 381-387. Citado por: Mújica *et al*. 1997.

- 
- Remon Narciso y Ferrer Ricardo. [s/f]. Fabricación de pastas alimenticias. Ed. Serrahma y urpi, Barcelona, España.
  - Sánchez Marroquín Alfredo. 1983. Dos cultivos olvidados, de importancia agroindustrial: El Amaranto y la Quinoa. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo, A.C. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 1(33): 11-32.
  - Sánchez. M. A., Domingo M. V., Torres J. A. y Maya S. 1986. Fortificación de semolina con harina integral de amaranto. p. 479-494. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
  - Santín Hodges Cynthia, Lazcano Sánchez Martha y Morales de León Josefina. 1986. Presente pasado y futuro del amaranto. Cuadernos de Nutrición. 1 (9): 17-32.
  - Segura- Nieto Magdalena, Velásquez-Sánchez Nelida, Rubio-Velázquez Hilda, Olgín-Martínez Laura E., Rodríguez-Nester Carlos E. y Herrera-Estrella Luis. 1992. Characterization of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus L.*) Seed Proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 9 (40): 1553-1558.
  - Serna Saldivar Sergio R. Othón. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México.
  - Stephen M. Alistair. 1995. Food Polysaccharides and their applications. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
  - Teutonico Rita A. y Knorr Dietrich. 1985. Amaranth: Composition, Properties and Applications of a Rediscovered Food Crop. Food Technology. 39 (4): 49-61.
  - Vargas López Juan Manuel. 2003. Amaranto: Cultivo de los aztecas prohibido por los Conquistadores Españoles. Revista Horizontes. Vol. 2003
  - [www.aaprotrigo.org/tecnología/elaboindustriego.htm](http://www.aaprotrigo.org/tecnología/elaboindustriego.htm)
  - [www.gro.itesm.mx/agronomía2/extensivo/CamarantoIndice de cultivo.html](http://www.gro.itesm.mx/agronomía2/extensivo/CamarantoIndice%20de%20cultivo.html) (1)
  - [www.gro.itesm.mx/agronomía2/extensivo/Camarantopropiedades.html](http://www.gro.itesm.mx/agronomía2/extensivo/Camarantopropiedades.html) (2)
  - [www.harina.org/trigo.htm](http://www.harina.org/trigo.htm)
  - Yáñez Enrique, Zacarías Isabel, Granger Denise, Vásquez Magali y Estévez Ana María. 1994. Caracterización Química y Nutricional del Amaranto (*Amaranthus cruentus*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 1 (44): 57-62