



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“AMARANTO:  
CONOCIMIENTOS ALIMENTICIOS, AGRONÓMICOS Y  
TECNOLÓGICOS AL INICIO DEL SIGLO XXI”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:  
CHRISTIAN OMAR FLORES RAMÍREZ**

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

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## Agradecimientos

A Dios por acompañarme, cuidarme y bendecir a toda mi familia.

A ti mamá, por tu apoyo incondicional, por guiarme y ser la motivación en cada etapa de mi vida. Gracias por ser mi ejemplo. No existen palabras para reconocer tu esfuerzo y energía en mi formación como persona. Sin ti no hubiera sido posible la realización de este sueño. Esto es para ti.

A Fabián, por acompañarme y guiarme en mi carrera, por enseñarme todo lo que sabe y compartir tantas alegrías. Gracias papá!

A mi mamá Mago y papá Bucho por brindarme su amor incondicionalmente, por apoyarme y ser parte fundamental en cada momento importante de mi vida.

A mis tíos Juan Carlos, Martín, Tomás y Alberto por ser mis amigos y compañeros, por sus consejos ofrecidos que me ayudaron a ser la persona que soy, por su ayuda y estimulación en mi formación académica.

A mi hermano Juanka, por todos los momentos buenos y malos que hemos pasado, por estar siempre a mi lado apoyándome.

A mis primos Kisra, Martín, Pablo y mis sobrinos Yosa, Jorge y Eli, por ser parte de mi vida y para que esto les sirva de motivación para que siempre cumplan sus metas y sueños.

A mi brother Gustavo, por su amistad y darme la oportunidad de trabajar y estudiar para solventar y culminar con esta etapa de mi vida. A Roberto y Manuel por acompañarme en este proceso.

A mi asesor Enrique Martínez Manrique por la oportunidad que me dio sin conocerme de lograr desarrollar este proyecto y cumplir un sueño.

A Mariana, por el tiempo que pasamos juntos, su apoyo absoluto, tiempo y paciencia. Por todos los momentos alegres y tristes que disfrutamos.

A todos mis amigos, pero en especial a Víctor, Iván y Fernando por compartir tantos momentos, pero sobre todo por escucharme siempre.

Gracias.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	II
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7

### Capítulo I Investigación agronómica sobre amaranto

1.1 Generalidades de amaranto.....	7
1.2 Países productores.....	10
1.3 Especies cultivadas en México y el mundo.....	11
1.4 Técnicas de producción:	
1.4.1 Rotación.....	13
1.4.2 Preparación del terreno.....	13
1.4.3 Siembra.....	14
1.4.4 Control de malezas.....	17
1.4.5 Cosecha.....	18
1.5 Mejoramiento de cultivos.....	20
1.6 Enfermedades.....	21
1.7 Fertilización .....	29
1.8 Rentabilidad / Rendimiento.....	30

### Capítulo II Investigación alimentaria de amaranto

2.1 Composición química.....	34
2.1.1 Proteínas.....	37
2.1.2 Carbohidratos.....	42
2.1.3 Lípidos.....	44
2.1.4 Vitaminas.....	47
2.1.5 Minerales.....	48

2.2	Calidad nutrimental y propiedades funcionales.....	51
2.2.1	Calidad nutrimental y propiedades funcionales de proteínas.....	51
2.2.2	Calidad nutrimental y propiedades funcionales de almidón.....	54
2.2.3	Calidad nutrimental y propiedades funcionales de lípidos.....	56

### **Capítulo III Investigación tecnológica sobre amaranto**

3.1	Usos y transformación	
3.1.1	Industrial.....	58
3.1.2	Artesanal.....	60
3.2	Avances	
3.2.1	Tecnológico.....	61
3.2.2	Investigación.....	69
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de diferentes especies de amaranto.....	7
Figura 2. Partes de la planta de amaranto.....	8
Figura 3. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de..... amaranto.	9
Figura 4. <i>Amaranthus caudatus</i> .....	12
Figura 5. <i>Amaranthus hypochondriacus</i> .....	12
Figura 6. <i>Amaranthus cruentus</i> .....	12
Figura 7. <i>Amaranthus tricolor</i> .....	12
Figura 8. Método de trasplante.....	14
Figura 9. Método de siembra directa.....	16
Figura 10. Tizón del amaranto.....	21
Figura 11. Mancha negra del tallo.....	22
Figura 12. Esclerotiniosis.....	22
Figura 13. Cercosporiosis.....	23
Figura 14. Pudriciones.....	23
Figura 15. Roya blanca.....	24
Figura 16. <i>Rhizoctonia sp</i> .....	24
Figura 17. Oidium.....	25
Figura 18. <i>Curvularia sp</i> .....	25
Figura 19. Volutella.....	26
Figura 20. Cultivo de amaranto.....	33
Figura 21. Estructura química del escualeno.....	56
Figura 22. Alimentos infantiles y harina especial para panificación.....	61

Figura 23. Harina Integral, Harina fina, Harina de semilla tostada .....	62
y productos instantáneos.	
Figura 24. Bosquejo general de procesos y productos.....	63
Figura 25. Diagrama de proceso para la elaboración de harina de amaranto y de arroz....	65
Figura 26. Diagrama del proceso para la obtención de la bebida instantánea.....	66
Figura 27. Prototipo de una tostadora de amaranto.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enfermedades que atacan al amaranto y sugerencias para el control orgánico...	21
Tabla 2. Plagas claves del amaranto.....	27
Tabla 3. Plagas potenciales que atacan al cultivo de amaranto.....	27
Tabla 4. Datos agronómicos de tres especies de amaranto.....	29
Tabla 5. Composición química del grano de amaranto.....	33
Tabla 6. Contenido de nutrimentos por 100 gramos de porción comestible en hojas..... de amaranto.	34
Tabla 7. Composición química proximal del grano de amaranto en comparación con.... algunos cereales (g/100 g de muestra base húmeda).	35
Tabla 8. Comparación de la composición química de semilla cruda y reventada de..... amaranto.	36
Tabla 9. Composición de aminoácidos esenciales de varias especies de semilla de..... amaranto (gramos de aminoácido/100 gramos de proteína).	37
Tabla 10. Contenido y cómputo de aminoácidos de la proteína de diferentes..... variedades de amaranto (gramos de aminoácido/ 100 gramos de proteína).	38
Tabla 11. Contenido de a.a. de semilla cruda y reventada de <i>A. Cruentus</i> ..... (g /100 g proteína).	39
Tabla 12. Contenido de aminoácidos en la hoja de amaranto comparada con otros..... cereales (g/100g).	40
Tabla 13. Características de los gránulos de almidón de las semillas de amaranto.....	41
Tabla 14. Contenido de lípidos, fracción de lípidos y contenido de escualeno en..... amaranto.	44
Tabla 15. Contenido de acidos grasos en la semilla de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> ....	45
Tabla 16. Contenido de ácidos grasos del amaranto comparado con otros cereales..... y leguminosas.	46
Tabla 17. Contenido de vitaminas en el grano de amaranto en relación con otras..... hortalizas (en 100 gramos).	46

Tabla 18. Contenido de vitaminas de las hojas de amaranto.....	47
Tabla 19. Comparación de minerales contenidos en el amaranto y otros cereales.....	48
Tabla 20. Contenido de minerales en la semilla de amaranto comparado con la..... leche materna.	48
Tabla 21. Contenido de minerales en la semilla de diferentes especies de..... amaranto expresados en partes por millón (ppm).	49
Tabla 22. Contenido de minerales de las hojas de amaranto comparado con una..... hortaliza como la espinaca (minerales por 100 g de porción comestible).	50
Tabla 23. Análisis proximal y calorías de los productos de amaranto.....	64
Tabla 24. Directorio de Investigadores que trabajan actualmente con el amaranto.....	74

## RESUMEN

La producción de alimentos en México y el mundo enfrenta una problemática muy compleja. Por una parte, el aumento de la población impone nuevos retos para la producción, por otra, los cambios en los patrones culturales y la tecnificación de la agricultura han llevado a la reducción de los recursos vegetales utilizados en la alimentación del hombre. En este contexto el amaranto ha capturado el interés de quienes se han dado a la tarea de recuperar y revalorar algunos cultivos que por diferentes razones han caído en el olvido y que tienen un prometedor potencial de explotación.

A pesar de su gran potencial, este grano no se ha aprovechado lo suficiente y aunque en la década de los 80's, surgieron diversas investigaciones que lo demostraron, no fue suficiente y dichos estudios se quedaron en una promesa. Si bien, en los últimos años se ha reiterado el interés por el amaranto, no ha sido valorado completamente. En cuanto se refiere a la investigación e industrialización como actividades competitivas, comparadas con otros granos, el desarrollo ha sido muy lento.

Por tal motivo, en el presente trabajo, se realizó una exhaustiva búsqueda de información sobre el estado actual del amaranto, enfocándose en el conocimiento agronómico, alimenticio y tecnológico, con el propósito de identificar áreas de investigación, que pudieran ayudar en el desarrollo tecnológico y la producción de este grano en México. Se recopiló y sistematizó la información obtenida de medios impresos, electrónicos y no publicada, esta última obtenida de manera directa con productores, procesadores e investigadores del país.

Como resultado de este trabajo, se encontró que el amaranto representa una buena opción para su siembra extensiva en nuestro país por sus características fisiológicas y morfológicas que le confieren resistencia a la sequía. Además, se evidenció que es necesario apoyar a los productores e investigadores para mejorar el cultivo y rendimiento de amaranto junto con el desarrollo tecnológico y comercial de productos elaborados con este grano. Con respecto a las propiedades alimentarias del amaranto, los estudios recabados indican que es un grano con una alta calidad nutrimental y del que pueden aprovecharse prácticamente todas las

partes de la planta. Por último, a nivel de investigación se propusieron algunos temas para desarrollar y/o profundizar sobre el amaranto: investigar su potencial de ingredientes nutraceuticos; caracterizar los genes que le confieren resistencia a sequia; y evaluar su potencial de producción de metabolitos secundarios que sirvan como defensa al ataque de insectos y/o patógenos.

## INTRODUCCIÓN

Varios son los problemas que enfrentan en la actualidad los países en vías de desarrollo, uno de los principales, es la desnutrición. Esto afecta principalmente a los grupos más sensibles de la población, como son mujeres y niños; pudiendo incluso, ser la causa de múltiples enfermedades y en algunos casos hasta la muerte. Sumado a esto, el continuo crecimiento de la población mundial y la incesante alza en el costo de los alimentos, ha originado una exhaustiva búsqueda de sustitución de alimentos de origen animal por vegetal (Silva, 2007).

El amaranto, constituye un gran potencial para resolver los problemas de alimentación que se presentan en el mundo, debido a su relativa facilidad para cultivarlo y sobre todo por su alto contenido de proteínas y balance adecuado de aminoácidos esenciales que poseen sus semillas y hojas, además de su buena calidad de grasa y su contenido de calcio, ácido fólico y vitamina C (Teutónico y Knorr, 1985; Bressani, 1989).

El amaranto es una planta autóctona de América, cultivada y utilizada desde hace más de 4000 años, la interrupción de su uso, se debió más a supersticiones que a un razonamiento científico. Es una planta que cuenta con un gran valor económico pues prácticamente todas sus partes tienen un uso: el germinado, la hoja, el grano y el rastrojo. Por otra parte, su alto rendimiento y amplia adaptación, incluso en ambientes desfavorables, hacen del amaranto una opción viable de cultivo en México en zonas de temporal muy variables o de baja tecnología moderna, debido a su resistencia a la sequía (Hernández y Herrerías, 1998).

Con la innovación de nuevos procesos de tecnología se ha dado un nuevo rumbo al aprovechamiento íntegro del amaranto. Sin embargo, el futuro del amaranto en México es muy incierto, los cultivos son demasiados pequeños comparados con la dimensión del territorio, no existe ningún tipo de apoyo hacia los productores, debido en gran parte a que no existe una demanda seria por parte de los consumidores, ocasionado por la falta de conocimiento de las propiedades nutrimentales y nutracéuticas del amaranto, además de los malos hábitos de alimentación que existen en la población. Todo esto, es generado, por una pausada investigación que ha tenido el amaranto, además de que los estudios realizados se encuentran dispersos, ocasionando que las industrias no inviertan en la innovación de

nuevos productos con amaranto y no se apoye a los agricultores, formando un círculo vicioso.

Es por eso que, en el presente trabajo se plantea, la búsqueda y recopilación de información en medios impresos (hemerográficos y bibliográficos) y electrónicos (internet), además de obtener información directa de investigadores mexicanos que trabajan con el amaranto, en conjunto con el apoyo de visitas de campo a productores de este grano, sobre el estado actual del conocimiento agronómico, alimentario y tecnológico del amaranto; para así mismo, organizar, sistematizar y analizar toda esta información, con el fin de identificar áreas de oportunidad para la investigación básica, el desarrollo tecnológico y la producción de este grano en México.

## **OBJETIVOS:**

### Objetivo General:

Obtener información sobre el estado actual del conocimiento alimenticio, tecnológico y agronómico del amaranto para identificar áreas de oportunidades en la investigación básica, el desarrollo tecnológico y la producción de este grano en México.

### Objetivos Particulares:

- Obtener información mediante medios impresos (hemerográfica y bibliográfica) y electrónicos (internet) sobre la investigación realizada hasta la actualidad referente al amaranto a nivel nacional e internacional para identificar el estado existente del conocimiento.
- Recopilar información relacionada con el amaranto no publicada de manera directa con productores, procesadores e investigadores en México.
- Sistematizar la información obtenida para facilitar su consulta y establecer lineamientos generales en las posibles áreas de investigación en un futuro y así mismo, impulsar el desarrollo tecnológico de nuevos productos de amaranto.

## **Metodología de Investigación**

- 1) La búsqueda de información se realizó de la siguiente forma:
  - 1.1 Búsqueda en base de datos de la UNAM sobre tesis elaboradas referentes al tema y libros registrados en sus bibliotecas.
  - 1.2 Búsqueda en bases de datos especializadas que se encuentran contratadas por la UNAM.
  - 1.3 Exploración en internet por medio de buscadores.
  - 1.4 Visitas directas a bibliotecas y hemerotecas especializadas.
  - 1.5 Búsqueda de campo; visitas directas a investigadores, productores y organizaciones relacionadas con amaranto.

2) Recopilación de Información:

El acopio de información se hizo de la siguiente manera: primero se registraron los datos de las fuentes, por medio de fichas bibliográficas en donde se fueron anotando los documentos que se pensó servían a la investigación. Dichas fichas se realizaron basándose en el formato propuesto por Bosch (1978) y Baena y Montero (1996). Una vez hechas las fichas bibliográficas se realizaron las lecturas completas de los documentos seleccionados y se registró la información en fichas de trabajo (González, 1997). La información de campo se obtuvo mediante cuestionarios con preguntas cerradas y la observación directa (Baena y Montero, 1996) sobre todo en visitas a productores del estado de México y la ciudad de México.

3) Redacción:

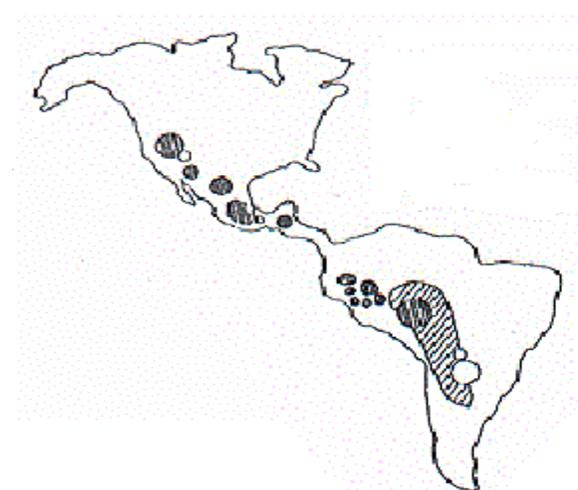
Una vez ordenadas las fichas de trabajo basadas en los temas señalados en el índice y con su ayuda, se procedió a la redacción del trabajo y la generación de las conclusiones y recomendaciones.

4) En el caso de los cuestionarios de las entrevistas, los resultados se analizaron estadísticamente, para obtener las frecuencias y con esto poder obtener información sobre las áreas de investigación en México sobre amaranto, además de información sobre producción (cantidad, variedad, formas) y los usos que los productores dan al amaranto.

## Capítulo I Investigación agronómica de amaranto

### 1.1 Generalidades de amaranto

El amaranto es un pseudocereal de cultivo anual. La palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita. La familia *Amaranthaceae* comprende más de 60 géneros y 800 especies de las cuales las principales productoras de grano son: *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* en México, y *A. caudatus* en Perú (Figura 1) (Ramírez, 2007; Ortiz y Ríos, 1992; Espitia, 1991).



- ⊝ *Amaranthus hypochondriacus* L.
- ⊞ *A. Cruentus* L.
- ⊘ *A. Caudatus* L.
- *A. Mantegazzianus*.

Figura 1. Ubicación geográfica de diferentes especies de amaranto en América.  
Fuente: Transue, *et al.*, 1994

El amaranto es una planta que alcanza una altura media de 1.5 m y mide 2.5 cm de diámetro en su base, adelgazándose muy poco hacia su extremidad; el número de hojas y el tamaño muestran una gran variabilidad intra e interespecies, pero en general las especies cultivadas miden 15 cm de largo, con un limbo de 18 a 19 cm de largo y 10 cm de ancho. Tiene flores pequeñas, unisexuales, agrupadas en espigas y pétalos en número de tres a cinco (Ramírez, 1994; Salazar- López, 1989; Nieto, 1990; y Bressani, 1983) (Figura 2).

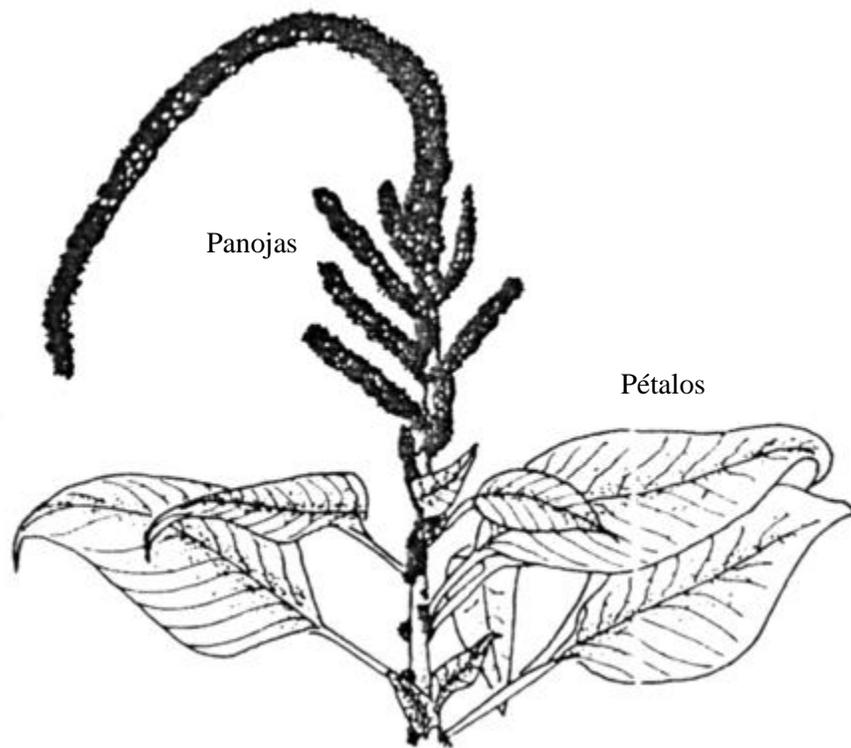


Figura 2. Partes de la planta de amaranto.

Ruiz (1990) menciona que las plantas desarrollan alturas de 1.30 a 1.70 m como promedio y que las panojas alcanzan una longitud de 60 cm y perímetro de 20 a 40 cm y pueden ser de color verde claro, rojo púrpura o una combinación de rojo y blanco.

Por otra parte, Teutónico y Knorr (1985) refieren que la semilla de amaranto es pequeña, de forma lenticular y comprimida con un diámetro en promedio de 1.0 – 1.5 mm y pueden ser de color blanco, café rojizo o negro, lisa y brillante. Las especies para producción de grano se reconocen fácilmente por su alta producción de semilla, por su mayor tamaño de plantas e inflorescencias y por el color claro de la semilla (Ramírez, 1994).

La cubierta de la semilla consiste de una capa simple de células que están íntimamente asociadas con el perispermo. En la región del embrión, la cubierta de la semilla está añadida al endospermo, permaneciendo en la madurez de la semilla. La mayor porción del endospermo cubre la raíz. Las células del endospermo tienen paredes gruesas y largas, que contienen cuerpos esféricos adheridos a una matriz esponjosa. Las células del embrión

tienen propiedades típicas de lípidos simples y complejos. Los cuerpos celulares esféricos, adheridos a la matriz que contiene el lípido, son parcialmente digeridos por tripsina, esto sugiere que son de naturaleza proteica. El perispermo, que está localizado en el centro de la semilla, contiene gránulos de almidón formados principalmente de amilopectina (Figura 3). Las células del procambium están formando grupos cilíndricos en el eje longitudinal del embrión y son secciones de diámetro relativamente pequeño que atraviesan a otras células del embrión (Rodale Press, 1980).

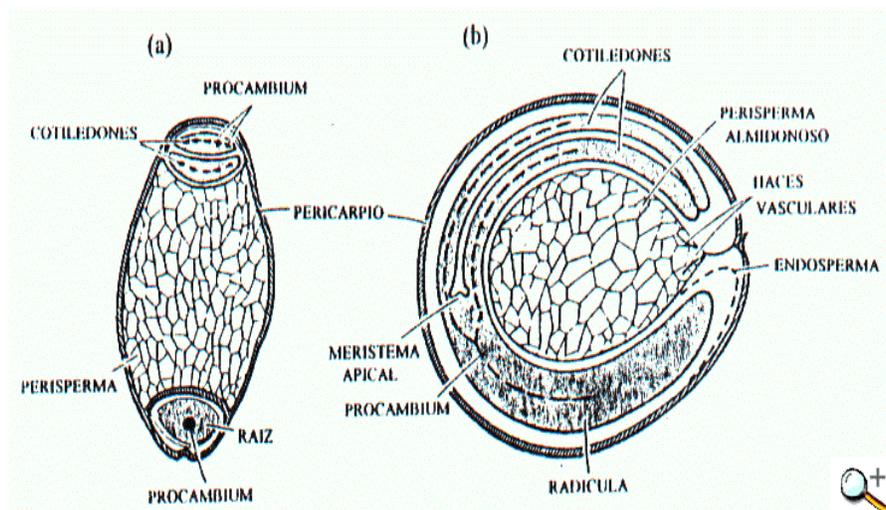


Figura 3. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto.  
Fuente: Irving *et al.*, 1981

El grano de amaranto es una planta de uso ancestral entre los antiguos habitantes del continente latinoamericano. La interrupción de su uso, se debió más a supersticiones que a un razonamiento científico, el cultivo fue prohibido por los conquistadores del nuevo mundo y literalmente desapareció; reduciéndose su cultivo a lugares marginales y subsistió sólo gracias a su conservación, como estrategia alimentaria de ciertas poblaciones indígenas. Sin embargo, en base a sus cualidades nutritivas, potencial y uso en alimentos, su disponibilidad y utilización se ha incrementado. Durante los últimos 30 años se ha estudiado, tanto desde el punto de vista agronómico, como desde los otros eslabones de la cadena alimentaria incluyendo desarrollo de productos y valor nutritivo.

## 1.2 Países productores

El amaranto tiene amplia dispersión y distribución en el mundo, se puede encontrar en México, Estados Unidos, Guatemala, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, India, Pakistán, Sri Lanka, Nepal, Birmania, Rusia Afganistán, Irán, China, Nigeria, Uganda, Oceanía, Malasia e Indonesia (Mujica *et al.*, 1997).

En México, se cultivan principalmente dos especies, *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* y son usadas como un alimento en comunidades de la mesa central de México. La producción comercial de amaranto se encuentra concentrada en cuatro regiones: el Oriente del Estado de Morelos, principalmente Huazulco y Amilzingo; San Miguel del Milagro en Tlaxcala; Huequechula, Santa Clara Textla y Tochimilco en el Estado de Puebla; y Tulyehualco, Mixquic, Tetelco y Tecomitl en el D.F. Esporádicamente se llegan a encontrar algunos lotes en los estados de Oaxaca, México, Guerrero y Durango (Espitia, 1991; Sanchez Marroquín *et al.*, 1990; Ruiz, 1990; Salazar y López, 1989).

Actualmente, en México la producción anual de amaranto es de 4 227 000 Kg, siendo el Estado de Puebla el principal productor con 3 673 000 Kg (SDR Puebla, 2008). La producción de amaranto se ha convertido en una opción rentable para los productores poblanos. Como ejemplo, está el caso de los amaranteros de Tochimilco que, desde el 2005, con el apoyo del gobierno del estado, comercializan más de 140 toneladas de amaranto.

Los datos mencionados sirven de ubicación geográfica-económica para identificar las principales zonas de producción y rendimiento, para el nuevo agricultor que quiera incursionar en la producción del amaranto.

El amaranto es resistente a sequías, por lo que con prácticas adecuadas de cultivo se puede cosechar en tierras de temporal (Tapia-Blácido *et al.*, 2007), se puede producir en regiones semiáridas desde 400 milímetros, tierras de labor que no tienen riego y solo participan del agua de lluvia (600 – 800 mm de lluvia por año), hasta zonas tropicales con 1300 milímetros de precipitación; se siembra desde el nivel del mar hasta cerca de 3000 metros de altitud, aunque es muy sensible a fríos excesivos (Ramírez, 1994; Estudillo, 1992; Reyna y Trujillo, 1988).

Estudillo (1992) menciona que el amaranto tiene una gran adaptabilidad geográfica, por lo que puede sembrarse desde 100 hasta 2800 milímetros sobre el nivel del mar. Puede soportar temperaturas altas de 29 °C y uniformes todo el año y hasta las zonas templadas de 14 °C e inviernos indefinidos con presencia de heladas tempranas sin afectar el grano, y también se puede cultivar con menos de 400 mm de lluvia.

Por tal motivo, de acuerdo a sus características agronómicas ya descritas, el amaranto se puede sembrar en cualquier región del país, con tierras pobres y de escasa precipitación pluvial, sin importar la altura sobre el nivel del mar. Estas características lo hace una opción para ayudar a resolver el problema alimenticio de México y el mundo; aunado a que es un alimento de alta calidad, nativo del tercer mundo y que permanece olvidado.

Por otra parte, por su carácter de cultivo intensivo, el amaranto podría constituir una importante fuente de empleo: en actividades agrícolas, procesamiento industrial, comercialización y en diversas investigaciones.

Además de la relativa facilidad de siembra del amaranto, como ya se mencionó, el atractivo de estas plantas es que de ellas se puede aprovechar prácticamente todo. Así, de sus semillas se puede elaborar harina, sus hojas pueden ser utilizadas como verduras, sus tallos son útiles en la fabricación de piensos animales, algunas son ornamentales e incluso sus inflorescencias pueden ser utilizadas como fuente de colorantes naturales rojos.

### **1.3 Especies cultivadas en México y el mundo**

El género *Amaranthus* tiene más de 60 especies (Rodale Press, 1980; Mujica, 1997), siendo las más importantes y conocidas las siguientes:



Figura 4. *Amaranthus caudatus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus edulis* y *mantegazzianus*.



Figura 5. *Amaranthus hypochondriacus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus leucocarpus* y *flavus*.



Figura 6. *Amaranthus cruentus* L. cuyo sinónimo es *Amaranthus paniculatus* L.



Figura 7. *Amaranthus tricolor* L. cuyo sinónimos es *Amranthus fangeticus*.

- *Amaranthus hybridus* L. cuyo sinónimo es *Amaranthus quitensis*.
- *Amaranthus blitum* L. sinónimo de *Amaranthus lividus* L.
- *Amaranthus virides* L. sinónimo de *Amaranthus glacilis*.

## **1.4 Técnicas de producción: rotación, preparación del cultivo, siembra y control de malezas.**

### **1.4.1 Rotación de cultivos**

Para la siembra de amaranto, es conveniente efectuar una rotación adecuada de cultivos para evitar la mayor incidencia de plagas y enfermedades y el uso preferencial de los nutrientes del suelo. Las rotaciones más utilizadas en Sudamérica son: Papa-Amaranto-Cereales-Haba, Papa-Cereales-Amaranto-Haba y Papa-Maíz-Amaranto-Tarwi (Mujica, 1997). El 33 % de los productores en la zona aledaña al D.F. aplican una rotación de cultivos en la siembra de amaranto (ver Anexo I).

### **1.4.2 Preparación del terreno**

Se debe seleccionar el sitio para siembra tomando en cuenta lo siguiente: que no presente maleza del mismo género del amaranto, ya que al deshierbar es muy difícil distinguirlos. Los suelos deben ser ligeros con buen drenaje, ya que el amaranto es muy sensible a suelos pesados que afectan el desarrollo de las raíces y consecuentemente el crecimiento de la planta (Espitia, 1989).

Ruiz (1990) menciona que el terreno que se requiere para la siembra de amaranto, necesita de un barbecho (arar la tierra disponiéndola para la siembra), un rastreo y en seguida se surca (trazar y dejar espacio para que pueda pasar el agua); esto, cuando el suelo es de migajón (poco arcilloso), pero si el suelo es pesado (muy arcilloso), debe dársele un barbecho, un rastreo, una cruz y posteriormente surcarse.

En el estado de Puebla, la preparación del terreno se debe realizar entre los meses de diciembre-febrero. Los surcos se hacen con una separación de entre 80 a 90 cm. La siembra se realiza entre el 15 de mayo y el 15 de julio, utilizando de 3 a 4 kg de semilla por Ha. La fertilización se hace en dos aplicaciones al momento de la siembra y en la segunda escarda con una fórmula de 27-69-00 (27 kg de nitrógeno, 69 kg de fósforo por cada 100kg de fertilizante) (SDR, 2008).

En la zona aledaña al Distrito Federal, la siembra se realiza entre fines de abril y principios de mayo, haciéndose principalmente en semilleros, para trasplantar un mes después y cosechar en los últimos días del mes de noviembre o primeros de diciembre. Se utiliza la misma cantidad de semilla y fertilización que en Puebla. En cambio, en el estado de Morelos, la siembra se hace en forma directa durante el mes de junio para cosechar en octubre (ver Anexo I).

### 1.4.3 Siembra

Existen dos sistemas tradicionales de siembra:

1. Trasplante, usado únicamente en la zona productora del Distrito Federal.
2. Directa, se utiliza en Morelos, Puebla y Tlaxcala.

Con el método de trasplante (Figura 8), se elimina la competencia de muchas malezas que normalmente se presentan en el cultivo, disminuyendo la competencia interespecífica; pero presenta una desventaja en comparación a la siembra directa, ya que es problemático su establecimiento en el terreno definitivo por efecto de la precipitación pluvial (Estudillo, 1992; Ruiz, 1990; Espitia, 1986).



Figura 8. Método de trasplante.

Espitia (1989) (citado por Ramírez, 1994) explica que el ciclo vegetativo se alarga con el trasplante y se obtienen menores rendimientos, debido a que cuando se presentan las heladas, la planta no ha madurado completamente. El trasplante puede cambiar drásticamente la morfología de la planta, tiende a tener una estructura de raíz diferente al de las plantas de siembra directa y son más propensas al acame (caída de planta); por esta razón, es más recomendable la siembra directa (Ramírez, 1994; Kauffman, 1992).

La siembra directa, que se realiza en los estados de Morelos, Puebla y Tlaxcala, tiene la ventaja que deja sobre la superficie del suelo el rastrojo del cultivo anterior y esto sirve para su conservación. La siembra también puede ser mecánica (Figura 9), adaptando la sembradora de trigo, ajustando al tamaño de la semilla de amaranto; la velocidad de siembra estará entre 1 y 3 km/h (Sánchez, 1986).

Los ajustes que se deben hacer a la trilladora son:

- Cerrar la criba superior igual que para trigo
- Cerrar la criba inferior a 1/10", igual que para alfalfa.
- La velocidad del abanico debe ser de 540 rpm.
- La velocidad del cilindro de 800 a 900 rpm.
- La separación entre el cilindro y el cóncavo casi completamente abierta

Este caso aplica generalmente en estos estados, debido a que no existe tanto relieve que impida el paso de las máquinas al campo. No se realiza movimiento importante de suelo (ni araduras ni rastros) excepto el movimiento que efectúan los discos cortadores de los abresurcos de la sembradora, al abrir una angosta ranura donde se localizará la semilla. Se puede realizar en terreno seco y esperar la lluvia, lográndose buen porcentaje de emergencia, por lo que es necesaria la práctica de aclareo (aumentar la extensión o el número de los espacios o intervalos entre surcos), que no es requerida en el sistema de trasplante (Ruiz, 1990). Se utilizan dos técnicas básicas para la siembra: a chorrillo y mateado. En el primer caso las semillas son depositadas en una hilera delgada, en el segundo, las semillas se depositan por grupos de 8 a 10 a una separación de 30 a 60 cm (Ramírez, 1994; Early, 1977).

Para el caso del sistema de siembra directa, deberá sembrarse cuando el suelo esté bien húmedo y que se haya establecido el temporal; la profundidad de siembra debe ser de 1 a 2 cm, ya que si es mayor se tienen problemas (Ramírez, 1994).



Figura 9. Método de siembra directa.

La siembra debe efectuarse de preferencia en suelo húmedo, o regar por aspersión inmediatamente después de la siembra. La densidad de siembra utilizada, varía de acuerdo a la calidad de la semilla y sistema de siembra empleado, generalmente se utiliza de 4-6 kg/ha.

La densidad de siembra, es la cantidad de semilla que se utiliza y depende de muchos factores como la especie, el método de siembra y las variedades. Sin embargo, varios autores (Espitia, 1989; Sumar *et al.*, 1993) coinciden que a densidades bajas las plantas son altas y vigorosas, en cambio densidades altas dificultan la cosecha.

Para poder distribuir la semilla uniformemente, es necesario mezclarla en arena o estiércol. Después de la siembra se tapa la semilla, pasando una rama por el fondo del surco, con lo que se consigue una profundidad adecuada de enterrado de 0.5 a 1.5 cm que es la recomendada. La semilla a utilizarse debe ser de buena calidad, procedente de semilleros básicos y debe estar libre de impurezas y mejor si es tamizada de tal manera que se utilicen los granos más grandes, maduros y mejor formados, además, deben tener un poder germinativo no menor al 90% (Mujica, 1997).

Actualmente, como ya se mencionó, para las siembras extensivas del amaranto se adaptan las sembradoras de cereales pequeños, dando buenos resultados, solamente se debe tener la precaución de no enterrar demasiado la semilla. Ocasionalmente se pueden utilizar sembradoras de hortalizas o forrajes sobre todo en pequeñas áreas.

#### **1.4.4 Control de malezas**

Es recomendado efectuar el primer control de maleza, cuando las plántulas de amaranto tengan de 10 a 15 cm de altura, eliminando preferentemente las malezas que están en el fondo del surco. El segundo control, si fuera necesario, debe efectuarse 30 días después del primero. Más tarde se eliminan las plantas más pequeñas, débiles, atípicas del cultivar y/o enfermas si las hubiera.

Es importante mencionar, que en este período se puede utilizar la plántula completa o las hojas, como verdura o para trasplantar a otros campos o llenar los blancos que pudieran existir en el mismo cultivo.

En lo relacionado al daño de herbicidas, aún no se ha determinado aquellos herbicidas que actúan en forma eficaz en el control de malezas del amaranto y la mayoría de los que existen en el mercado producen fitotoxicidad en diferentes grados. Sin embargo, aplicaciones de herbicidas entre surcos, utilizando protectores a ambos costados del surco y sin que el herbicida toque al amaranto, se han usado con relativa eficiencia, como es el caso del metabenzthiazuron (Tribunil) y linurón (Afolon) en aplicaciones después de la emergencia a razón de 1.5 L/ha. (Mujica, 1997).

Por lo general, no se logra eliminar completamente la maleza con la escarda (lámina o pala cortante cuadrangular de hierro), es necesario realizar uno o dos deshierbes a mano. Es importante resaltar que se debe poner especial cuidado con la maleza en las primeras etapas de crecimiento, ya que el amaranto crece muy lento durante el primer mes.

### 1.4.5 Cosecha

En México, la cosecha se realiza aproximadamente tres meses después de la floración, es decir, de 5 a 7 meses después de la siembra (ver Anexo I). La cosecha manual, se efectúa cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica, para evitar la pérdida de semilla. La cosecha manual tiene cinco fases: corte, formación de parvas (montones), trilla o azotado, limpieza, secado y almacenamiento (Madeleine, 2009).

Como resultado de la investigación de campo que se realizó durante este trabajo, se observaron varias características sobresalientes, que se aplican durante la cosecha con el método tradicional, para obtener un mejor rendimiento y máximo aprovechamiento:

- Una característica, que indica que la planta ha llegado al estado de cosecha, es cuando las hojas se ponen amarillas y el tallo adquiere tonalidades negras. La cosecha se lleva a cabo durante los meses de octubre y noviembre.
- El corte se realiza utilizando hoces y cuando las plantas alcanzan la madurez fisiológica, se corta aproximadamente a 20 cm del suelo y se va colocando en manojos pequeños, para ser trasladados después a un lugar definitivo, donde completarán su madurez y perderán humedad; esta operación se efectúa preferentemente en horas de la mañana.
- La formación de parvas se realiza una vez cortadas las plantas, colocando todas las panojas en un mismo sentido y formando montículos, con la finalidad de que pierdan humedad, lo suficiente como para ser trilladas, de esta manera también se podrán proteger, de las eventuales lluvias que pudieran presentarse.
- El trillado se realiza cuando las plantas están totalmente secas y por ende el grano se puede desprender fácilmente, para ello se extienden lonas en el suelo, luego se colocan las panojas formando manojos en sentido opuesto y unos sobre otros para luego golpearlos y azotarlos con lazos o palos, hasta desprender el grano.
- La limpieza, se realiza una vez desprendidas las semillas, que quedan mezcladas con las fracciones de inflorescencias, tallos, hojas, etcétera; se procede a separar los

granos de la broza (conjunto de hojas, ramas, cortezas y otros despojos de las plantas), aprovechando las corrientes de aire y luego utilizando tamices o cernidores, preparados especialmente para este tipo de grano; de esta forma se obtiene la semilla limpia y se procede al secado y almacenamiento.

- El secado se efectúa una vez que el grano esté limpio, el cual se debe secar al sol hasta que pierda la humedad y llegue aproximadamente a un 12 %, para ello es necesario extenderlo durante uno o dos días; si no se hace esto, se pueden producir fermentaciones y se puede amarillear, disminuyendo su valor comercial. El almacenamiento debe efectuarse en lugares ventilados y secos, de preferencia envasar en costales de yute o tela, evitando usar los de plástico, sobre todo si la semilla se va a utilizar en la siguiente siembra.

En cuanto al método mecánico, se puede mencionar lo siguiente: para la cosecha se puede usar una máquina ajustada, como las que se usan para limpiar la semilla de alfalfa o el trébol. El amaranto, debe ser cosechado después de la primera helada, para reducir pérdidas por rendimiento, la cosecha antes de la primera helada no es recomendable, debido a que la planta tiene demasiada humedad e incrementa los costos de secado. La cosecha mecánica tiene como inconveniente, una pérdida de hasta un 25 % del grano en comparación con la cosecha manual (Mujica, 1997).

El amaranto representa una buena opción, por sus características fisiológicas y morfológicas que le confieren resistencia a la sequía. Como conclusión se puede decir que, con la cosecha manual, a pesar de ser un trabajo arduo, se logran mejores rendimientos que con la mecánica, por lo tanto, es más recomendable para pequeños productores. Por otra parte, se recomienda ampliamente el cultivo del amaranto, ya que es apropiado para aquellas regiones con agricultura de temporal, sobre todo para aquellas zonas donde la lluvia es escasa y mal distribuida.

## **1.5 Mejoramiento de cultivos**

La producción de semilla mejorada, es de suma importancia en el sistema de producción, porque a mayor calidad genética de la semilla, se obtiene mayores rendimientos y

producciones libres de enfermedades. Los semilleros básicos, deben ser instalados en campos donde recientemente no se haya cultivado amaranto, estos semilleros deben ser aislados de otros campos de amaranto, tanto en distancia como en el tiempo, para evitar cruzamientos no deseados, recomendándose distancias mínimas de 100 m (Mujica, 1997).

La semilla para la siembra del semillero básico, deberá provenir de una selección masal de panojas o de semilleros fundamentales, con las respectivas inspecciones sanitarias, por lo menos en tres fases fenológicas (Mujica, 1997).

La calidad de la semilla, no solo está dada por la pureza vegetal y porcentaje de impurezas, sino por la misma conformación tanto genotípica como fenotípica del grano, además de los cuidados otorgados durante el desarrollo del cultivo y eliminación de plantas silvestres y atípicas a la variedad sembrada (Mujica, 1997).

Las características esenciales, del método de cultivo para semilleros en zonas semiáridas son las siguientes (Hernández y Herrerías, 1998):

1. Siembra de la semilla en germinadores, para anticiparse al periodo de lluvias.
2. Trasplante de la plántula a bolsa de vivero, en caso de retraso en las lluvias, evitando la competencia de malezas y logrando un eficiente uso del agua.
3. Polímeros higroscópicos que absorben y retienen humedad en periodos de sequía.
4. Trasplante de la planta a campo, incorporando cajetes como microcuencas para captar la escasa precipitación pluvial, reuniendo la humedad alrededor de la planta.
5. Baja densidad de siembra para no desgastar el suelo y evitar competencia por la luz.
6. Control biológico de plagas.

## **1.6 Enfermedades**

La planta de amaranto es muy suculenta y de abundante follaje, lo que la hace muy apetecida por las plagas (Tabla 1), principalmente a gusanos trazadores (larvas). Pero la plaga más peligrosa, la constituye el barrenador del tallo, ya que por su acción, las plantas caen al suelo y se pudre el grano, ocasionando fuertes pérdidas al productor (Ruiz, 1990).

Se destacan las enfermedades radicales, ocasionadas por el complejo de hongos *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Phytm*. Estas enfermedades se presentan bajo condiciones de excesiva humedad y altas temperaturas, causando bajas en el rendimiento del grano (Marrufo, 1990).

Tabla 1. Enfermedades que atacan al amaranto y sugerencias para el control orgánico.

Enfermedad	Método de control
Pudrición de la raíz ( <i>Rhizoctonia sp</i> )	Cuando se noten las primeras plantas infectadas (dobladas en el suelo) aplicar 4 litros por hectárea de SEDRIC-650; es un producto orgánico con extractos de yuca.
Marchitez ( <i>Phytophthora spp</i> )	A los 10 días después de la siembra fumigar con proselective trichodef usando 1 kg por hectárea.
Carbón de la espiga	Hacer rotación de cultivos de preferencia con leguminosas y hacer barbechos profundos después de la cosecha para que con el sol se desinfeste el terreno.

Fuente: (Alvarado *et al.*, 2007; Estudillo, 1992)

### Enfermedades por hongos (Mujica, 1997; Monteros *et al.*, 1994; Garmendia, 1985).

- 1) Tizón del amaranto (Figura 10): Es causado por *Alternaria tenuis* (México), *Alternaria alternantherde* (Estados Unidos), *Alternaria amaranthi* (India, Kenia), *Alternaria spp* (Perú, Nepal, Ecuador), produce lesiones necróticas con círculos concéntricos y un halo amarillento en las hojas.



Figura 10. Tizón del amaranto.

- 2) Mancha negra del tallo (Figura 11): Enfermedad causada por *Macrophoma sp*, muestra manchas oscuras en la base del tallo, ataca todos los órganos de la planta produciendo manchas negras superficiales sobre el tallo y los pecíolos. No produce pérdidas importantes salvo que se asocie con ataque de insectos.



Figura 11. Mancha negra del tallo.

- 3) Esclerotiniosis (Figura 12): Enfermedad causada por *Sclerotinia sclerotiorum*, que ataca a gran parte de los órganos de la planta, produciendo lesiones de color marrón en el tallo e inflorescencias; en hojas produce clorosis y muerte. En ataques severos produce pudriciones a lo largo del eje central de la inflorescencia para posteriormente ocasionar marchitez.



Figura 12. Esclerotiniosis.

- 4) Cercosporiosis (Figura 13): Producida por el hongo *Cercospora brachiata*, *Cercospora sp.* La enfermedad comienza en las hojas inferiores y termina en las superiores. En las caras de las hojas aparecen pequeñas manchas verdes y amarillas de forma irregular.



Figura 13. Cercosporiosis.

- 5) Pudriciones (Figura 14): Producidas por *Phytium aphanidermatum*, *Phytium sp.* producen pie negro en el campo, y pudrición húmeda en el periodo de almacenaje.



Figura 14. Pudriciones.

- 6) Roya blanca (Figura 15): Producida por *Albugo bliti*, es de amplia difusión, se presenta en forma de ampollas blancas en la cara superior de las hojas y póstulas eflorescentes blancas en la cara inferior. La enfermedad no reviste importancia pues no produce pérdidas económicas relevantes.



Figura 15. Roya blanca.

- 7) *Rhizoctonia sp* (Figura 16): Causa estrangulamiento del cuello de la plántula.



Figura 16. *Rhizoctonia sp*.

- 8) Oidium (Figura 17): Producida por *Erysiphe sp.* es un hongo muy frecuente que se manifiesta en forma de manchas de polvillo blanco.



Figura 17. Oidium.

- 9) *Curvularia sp* (Figura 18): Se presenta en hojas desarrolladas donde se observa manchas de color marrón oscuro, de formas irregulares en los bordes y el ápice de 2 a 4 cm. Esta enfermedad no ocasiona pérdidas en la producción



Figura 18. *Curvularia sp.*

- 10) Volutella (Figura 19). Esta enfermedad produce chancro (infección que rodea las ramas), puede afectar el rendimiento.



Figura 19. Volutella.

### **Enfermedades producidas por virus**

Se ha observado, en plantas de amaranto que presentan achaparramiento, forma de roseta y clorosis de las hojas, que esto es causado por virus. Las enfermedades virosas influyen en la calidad del grano y no solo en tamaño y vigor de la semilla, sino que muchas veces causan producción de granos vanos, de colores amarillentos y deformes, teniendo como consecuencia devaluación del producto y fuertes pérdidas económicas solo en caso de ataques severos.

Las enfermedades producen deterioro de la calidad y mala apariencia de las hojas que se utilizan como hortalizas (Mujica, 1997).

Aunque no se presentan con facilidad las enfermedades causadas por virus, es recomendable, en caso de presentarse, eliminar las plantas atacadas y enterrarlas; y posteriormente, utilizar semilla procedente de semilleros básicos para garantizar el cultivo.

### **Daños producidos por insectos**

Existe relativamente escasa información respecto a la presencia, identificación, biología, daños y control de insectos en zonas del cultivo en Centroamérica y México. En el amaranto, son pocas las especies de insectos que constituyen plagas de importancia económica, donde la presencia de insectos pudiera ocasionar la pérdida completa del cultivo (Mujica, 1997).

Las plagas de insectos del amaranto han sido categorizadas para su estudio y control en: Plagas claves y plagas potenciales (FAO, 1990) (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Plagas claves del amaranto.

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Eurissacca melanocampta</i>	Polilla de la hoja
<i>Pseudoplusia includens</i>	Falso medidor
<i>Spodoptera eridania</i>	Caballada o gusano ejército
<i>Herpetogramma bipunctalis</i>	Polilla de la kiwicha

Fuente: Mujica, 1997.

Tabla 3. Plagas potenciales que atacan al cultivo de amaranto.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Tipo de daño</b>
<i>Noctuidae</i>	<i>Agrotis spp.</i>	Gusanos trozadores	Mastican el tallo hasta trozar la planta. Consumen follaje y brotes tiernos
<i>Noctuidae</i>	<i>Feltia spp.</i>	Gusanos cortadores	Mastican el tallo hasta trozar la planta. Consumen follaje y brotes tiernos
<i>Chrysomelidae</i>	<i>Diabrotica spp.</i> <i>Epitrix spp.</i>	Vaquita Tortuguita	Mastican hojas y brotes tiernos. Perforaciones finas en las hojas.
<i>Aphidae</i> <i>Miridae</i>	<i>Myzus spp.</i> <i>Lygus spp.</i>	Pulgones Chinches	Succionan la savia. Perforan y se alimentan de granos tiernos.

Fuente: Nieto, 1990

## 1.7 Fertilización

Como cualquier otro cultivo, la fertilización dependerá del tipo de suelo. En general requiere dosis medias de nitrógeno y fósforo. Diversos autores, han determinado una correlación positiva entre la fertilización nitrogenada y el rendimiento de semilla, encontrándose respuesta hasta 180 kg N/ha (Clark y Myers, 1994; Elbehri *et al.*, 1993; Sepúlveda, 1989).

Diversos autores (Morales *et al.*, 1991; Espitia, 1991; Ruiz, 1990; Marrufo, 1990; Bressani, 1987) reportan que el rendimiento de grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) fue afectado significativamente por las aplicaciones de nitrógeno, no así por fósforo, los rendimientos obtenidos variaron de 714 a 2385 kg/ha de grano, además mencionan que aplicaciones de estiércol sobre la semilla favorece la germinación de estas. Mientras que Bressani *et al.* (1987), reportan que no hubo diferencias significativas sobre el rendimiento, provocada por la fertilización, al ensayar en cuatro tipos de amaranto (Tabla 4).

Por tal motivo, se puede decir, que la fertilización nitrogenada está correlacionada positivamente con el contenido de proteína de la semilla.

La fertilización nitrogenada se aplica de la siguiente manera: la mitad cuando se siembra y la otra mitad después del primer control de malezas manual. Las fuentes de nitrógeno utilizadas son urea, salitre sódico o nitrato de amonio.

Las fuentes de fósforo y potasio más usadas son, superfosfato triple y sulfato de potasio, las cuales se aplican antes de la siembra y son incorporados con el último rastraje (emparejamiento y limpieza de malezas) (Ruiz, 1990; Mujica, 1997).

Cabe mencionar, que el 67 % de los productores encuestados, utilizan fertilizante orgánico, señalan que le mejora la calidad del grano (ver Anexo I).

Tabla 4. Datos agronómicos de tres especies de amaranto.

	<b>Días a la floración</b>	<b>Días a la cosecha</b>	<b>Rendimiento de semilla</b>
<i>A. Cruentus</i> (USA)	44	102	1.77 - 2.69 t/ha
<i>A. Cruentus</i> (Guatemala)	50	109	2.95 – 5.00 t/ha
<i>A. Hypochondriacus</i> (USA)	43	100	2.77 – 4.44 t/ha
<i>A. Caudatus</i> (Perú)	57	129	1.24 – 2.71 t/ha

Fuente: Ruíz, 1990; Bressani *et al*, 1987

## 1.8 Rentabilidad

El precio comercial del grano de amaranto, reportado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2009) es de \$15 por kilo, pero en la investigación de campo, los agricultores nos reportaron un precio de \$20 el kilo del grano (ver Anexo I). Es importante señalar, que este precio, es dos veces más alto que el del maíz, uno más que el del frijol y tres veces más que el trigo.

Este elevado precio comercial, se debe a su alto nivel proteínico, a sus facultades de energizante, a su resistencia a sequías, adaptabilidad a diversas zonas de producción y además a su uso potencial y aplicaciones (Guía del emprendedor, 2008).

### Rendimiento

El rendimiento por hectárea oscila entre 1.0 y 2.0 toneladas sin riego (ver Anexo I), pero se puede asegurar un aumento en la rentabilidad de la tierra de entre un 100 a 200%.

Para mejorar el rendimiento se tiene que conocer lo que puede influir en él; a continuación se enumeran una serie de variables en las que se ha encontrado una correlación genética positiva con el rendimiento: días de floración, altura de planta a floración, número de hojas, diámetro del tallo, altura de planta a madurez fisiológica, longitud de inflorescencia, materia seca foliar, materia seca del tallo, materia seca de la semilla, materia seca total, índice de cosecha, peso hectolítrico, tasa del rendimiento económico, tasa de rendimiento biológico, relación semilla/paja e índice de llenado de las semillas, esto significa que si se desea mejorar el rendimiento indirectamente, se deberá escoger plantas con mayor expresión de las características señaladas (Mujica, 1997).

Espitia (1986) encontró que la longitud y el ancho de la hoja están alta y positivamente correlacionados con el rendimiento de la semilla.

Los experimentos de fertilización y densidades de población en México se han realizado en suelos con pH que varían de 5.8 a 7.6, contenido de materia orgánica de 0.9 a 4.1 % y texturas migajón arenoso, migajón arcillo-arenoso y migajón arcillo; obteniéndose rendimientos promedios desde 650 kg/ha hasta 1718.9 kg/ha de grano (Espitia, 1991).

Mediante ensayos de rendimiento, se encontró que, en un metro cuadrado plantado con amaranto puede producirse un kg de semilla. Después de la cosecha se encontró que la densidad más alta de *Amaranthus hypochondriacus*, con plantas espaciadas a 51 cm ente sí, o sea 40 000 plantas/ha, produjo un rendimiento de 1.1 ton/ha de grano; mientras que con la misma densidad, *Amaranthus cruentus* rindió 0.9 ton/ha (Ruíz, 1990).

Esta información se complementó con datos obtenidos de 80 lugares, sembrados todos con *Amaranthus hypochondriacus*. Los rendimientos fueron bastantes uniformes; con una separación de 51 cm entre las plantas los promedios fueron de 1.9 ton/ha. En algunos casos se obtuvieron rendimientos de hasta 2.5 ton/ha con un distanciamiento entre plantas de hasta 25 cm (Ruíz, 1990).

De acuerdo a la investigación agronómica del amaranto, se puede concluir que su cultivo tanto en México, como en los países de América, tiene enormes posibilidades y perspectivas en cuanto a técnicas de siembra; crece y se adapta a condiciones extremas de

clima, altura y sequía, haciéndolo un cultivo con características agroclimáticas y tecnológicas adecuadas para su cultivo. Sumado a esto, la baja posibilidad de ser atacado por alguna enfermedad; aplicando adecuados controles de maleza y una supervisión continua para detectar y erradicar a tiempo alguna enfermedad.

Así mismo, el uso y consumo de este producto de alto valor proteico, traería como consecuencia una mayor demanda del amaranto en los países europeos e industrializados, permitiendo que la producción en América Latina tuviera un impulso. Lógicamente, esto permitiría mejores precios y mayores posibilidades de incrementar el área cultivada. Estas consideraciones, hacen que tanto los investigadores, como las instituciones de investigación, promuevan la obtención de nuevas variedades, mejoren la tecnología existente, consigan mayor productividad y por ende mayores ingresos económicos para los productores y actividades relacionadas con el consumo del amaranto.

## Capítulo II Investigación alimentaria de Amaranto

El amaranto es una planta que cuenta con un gran valor económico, pues prácticamente todas sus partes tienen un uso: el germinado, la hoja, el grano y el rastrojo. (Hernández y Herrerías, 1998).

En las regiones húmedas y tórridas de África, del sureste asiático (en especial Malasia e Indonesia), el sur de China, el sur de la India y el Caribe, se cultivan las especies *A. tricolor*, *A. debius* y *A. cruentus* como verdura para sopas o para aderezos cocidos (Ramírez, 2007).

No sólo las semillas tienen un alto valor nutritivo, también las hojas son ricas en proteínas, lo mismo que en vitaminas y minerales. Su sabor es suave y en gran parte de México y Centroamérica se hierven las hojas y tallos del amaranto para comerse como verdura.

Los granos del amaranto, se reconocen bien en el mercado como un alimento nutritivo, por sus componentes alimenticios notables, que pueden enriquecer la dieta humana. La composición y las características alimenticias de los granos del amaranto han recibido atención especial durante las décadas de los 80's y 90's (Brenner, 1991; Lehman, 1996; Sanchez Marroquín *et al.*, 1990 b; Teutónico y Knorr, 1985).

El grano de amaranto tiene un alto contenido proteico, mayor al 17% (Tabla 5). Su proteína es de excelente calidad ya que posee un balance casi perfecto de aminoácidos, siendo superior al que ofrece el contenido proteico de la leche. Los granos de amaranto contienen aproximadamente 9.16 % de fibra dietética (Pedersen *et al.*, 1987). Se caracterizan por tener altas concentraciones de calcio, fósforo, hierro, potasio, vitamina E y un contenido bajo de factores antinutrientales (Tosi *et al.*, 2001, Zapotoczny *et al.*, 2006).

El amaranto puede ayudar a combatir la anemia, debido al hierro y vitamina C que se encuentran en las hojas y las semillas (Figura 20). También revierte los procesos de desnutrición relacionados con el bajo consumo de alimentos ricos en proteínas, ya que contiene un balance casi perfecto de aminoácidos y tiene abundante lisina; es excelente

comparado con otros alimentos de origen animal o vegetal como la carne, leche, huevo, frijol, chile y otros.



Figura 20. Cultivo de amaranto.

## 2.1 Composición química

En la tabla 5 se puede observar la composición química promedio del grano de amaranto, (Teutónico y Knorr, 1985; Bressani, 1989). Las principales fracciones proteicas presentes en este grano son albúminas (49-65%), globulinas (22-42%) y glutelinas (14-18%).

Tabla 5. Composición química del grano de amaranto.

<b>Característica</b>	<b>Contenido</b>
Proteína	12 – 19
Carbohidratos	71.8
Lípidos	6.1 – 8.1
Fibra	3.5 – 5.0
Cenizas	3.0 – 3.3
Energía (Kcal)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1.5

Fuente: Mujica, 1997

Las hojas poseen un alto contenido en calcio, potasio y fósforo, lo cual, genera un buen complemento con los granos, las hojas son recomendables comerlas tiernas y cocidas para evitar algunos agentes antinutrimientales como los oxalatos y nitritos (Tabla 6). Además, las hojas pueden ser una buena opción como especie forrajera para el ganado u otros animales.

Tabla 6. Contenido de nutrimentos por 100 gramos de porción comestible en hojas crudas de amaranto.

<b>Componente</b>	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>
Materia seca %	13.1	12.8
Energía (Kcal)	36.0	--
Proteína (g)	3.5	3.6
Grasa (g)	0.5	0.3
Carbohidratos (g)	6.5	--
Fibra cruda (g)	1.3	1.1
Cenizas (g)	2.6	2.9
Calcio (mg)	267.0	198.7
Fósforo (mg)	67.0	73.0
Hierro (mg)	3.9	3.2
Potasio (mg)	411.0	398.7

Fuente: Sanchez Marroquín *et al.*, 1990.

La composición química proximal del grano de amaranto, presenta valores de proteína, lípidos, fibra cruda y cenizas, que están por arriba de lo que comúnmente se presenta en la mayoría de los cereales (Tabla 7).

Plucknett *et al.*,(1987) mencionan que la semilla de amaranto con un contenido proteico de 16 %, esta por arriba de variedades convencionales de trigo (12-14), arroz (7-10%), maíz (9-10%) y otros cereales de gran consumo.

Tabla 7. Composición química proximal del grano de amaranto en comparación con algunos cereales (g/100 g).

<b>Cereal</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Fibra cruda</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Carbohidratos</b>
<i>Amaranthus cruentus</i>	13.2 – 17.6	6.3 – 8.1	3.4 – 5.3	2.8 – 3.6	60.4
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	13.9 – 17.3	4.8 – 7.7	3.2 – 5.8	3.3 – 4.1	63.1
Maíz blanco	7.9	3.9	2.0	1.2	73.0
Maíz amarillo	8.3	4.8	2.0	1.2	69.6
Arroz	6.7	0.4	0.3	0.5	78.8
Trigo	10.2	2.0	2.3	1.7	73.4

Fuente: Becker *et al.*, 1981

En México, el procesamiento térmico de contacto directo (comal) para reventar la semilla, es muy empleado para la elaboración de la alegría. Se ha observado que, durante el reventando del grano, la calidad del producto disminuye, porque la lisina disponible se reduce. Por lo que, un tiempo de contacto prolongado, da un producto tostado de baja calidad nutrimental. El porcentaje de pérdida de la proteína, provocado por el calentamiento del grano, está en función del método empleado para calentarlo.

En la Tabla 8 se muestra que el reventado del grano en un período corto, no afecta la composición química de la semilla de amaranto.

Tabla 8. Comparación de la composición química de semilla cruda y reventada de amaranto.

<b>Nutriente</b>	<b>Semilla cruda</b>	<b>Semilla reventada</b>
Proteína (N x 6.25) %	15.60	15.70
Grasa %	6.30	7.30
Materia mineral %	2.93	2.96
Fibra cruda %	2.43	2.48
Carbohidratos %	72.20	71.60
Energía Kcal	410.00	415.00
Calcio mg/100g	222.00	218.00
Fósforo mg/100g	548.00	525.00
Hierro mg/100g	13.90	11.70
Ac. Nicotínico mg/100g	0.75	0.82

Fuente: Salazar y López, 1989; Pant, 1985

### **2.1.1 Proteínas**

Como ya se mencionó, el amaranto tiene un alto contenido proteico, mayor al que se encuentra en distintas variedades de cereales y parecido al de algunas leguminosas. La proteína de las semillas de amaranto, tiene un balance de aminoácidos que se acerca al ideal requerido en la dieta humana (Bressani, 1989).

La composición de aminoácidos de las proteínas del amaranto, se compara bien con los estándares de proteína de la FAO/OMS de 1985, donde se puede observar que el amaranto es una buena fuente de lisina, triptófano y de aminoácidos azufrados (Tabla 9).

Tabla 9. Composición de aminoácidos esenciales de varias especies de semilla de amaranto (gramos de aminoácido/100 gramos de proteína).

<b>Especies</b>	<b>Triptófano</b>	<b>Aromáticos</b>	<b>Treonina</b>	<b>Isoleucina</b>	<b>Valina</b>	<b>Lisina</b>	<b>Azufrados</b>	<b>Leucina</b>
<i>Amaranthus cruentus</i>	0.0 – 1.5	4.0 – 4.8	2.7 – 3.9	2.8 – 4.0	3.3 – 4.5	4.9 – 6.1	6.0 – 8.5	4.4 – 6.2
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	1.2 – 1.5	4.0 – 4.1	2.8 – 2.9	3.0 – 3.1	3.4 – 4.6	3.4 – 4.9	5.5 – 6.4	4.7 – 5.2
<i>Amaranthus caudatus</i>	---	2.8	2.8 – 4.0	1.8 – 3.1	1.2 – 4.1	4.0 – 5.7	3.1 – 4.0	3.2 – 5.0
<i>Amaranthus hybridus</i>	---	0.7 – 1.5	2.7 – 3.7	3.0 – 3.7	---	4.5 – 6.3	15.2 – 18.2	6.0 – 7.1
<i>Amaranthus edulis</i>	1.1 – 4.0	4.0	3.8 – 4.0	4.0 – 4.1	4.5 – 4.7	5.9 – 6.4	8.1 – 8.6	6.1 – 6.3
FAO / OMS 1985	1.1	3.5	3.4	2.8	3.5	5.8	6.3	6.6

Fuente: Modificada de Teutónico, 1985

FAO/OMS 1985 Balance ideal requerido para la dieta humana.

La composición de aminoácidos de las proteínas del grano, de las diferentes variedades de amaranto, son muy similares. En cuanto a su balance, se encuentra muy cercano al requerido para la nutrición humana, según la FAO y la OMS, (1985). El cómputo aminoacídico, establece una comparación entre la composición aminoacídica de una proteína patrón y la composición aminoacídica de la proteína de amaranto. El cómputo aminoacídico es de 8.6% en *A. hypochondriacus* y de 7.7% en *A. cruentus* (Cuadro 11). Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con los cálculos químicos de la proteína del trigo (7.3%) y soya (7.4%) (Mujica, 1997).

Tabla 10. Contenido y cómputo de aminoácidos de la proteína de diferentes variedades de amaranto (gramos de aminoácido/ 100 gramos de proteína).

<b>Aminoácidos</b>	<b>Patrón de aminoácidos(a)</b>	<i>Amaranthus caudatus</i>	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	<i>Amaranthus Cruentus</i>
Isoleucina	2.8	5.2	3.9	3.6
Leucina	6.6	4.6	5.7	5.1
Lisina	5.8	6.7	5.5	5.1
Azufrados	6.3	3.5	4.7	4.0
Aromáticos	3.5	6.3	7.3	6.0
Treonina	3.4	5.1	3.6	3.4
Triptófano	1.1	1.1	---	---
Valina	3.5	4.5	4.5	4.2
Histidina	1.9	2.5	2.5	2.4
Cómputo aminoacídico		7.0	8.6	7.7

Fuente: Mujica, 1997 (a) FAO, OMS, 1985

Es importante señalar, el efecto que tiene el reventado del grano de amaranto sobre su contenido de aminoácidos. En la tabla 11 se puede observar, que la lisina sufre un efecto adverso mayor en el reventado casero (40%). El reventado del grano se puede realizar con aire caliente, obteniéndose un producto de mejor calidad proteica, ya que con este método de calentamiento, se observó que la proteína se redujo en un 20 % (Bressani, 1983).

El grado de pérdida en el contenido de lisina total, también se produce en el reventado comercial con aire caliente, pero en menor grado (25%) que en el casero (Salazar, 1985).

Tabla 11. Contenido de a.a. de semilla cruda y reventada por el método tradicional de *A. Cruentus* (g /100 g proteína).

<b>Aminoácido</b>	<b>Semilla cruda</b>	<b>Semilla reventada</b>
Isoleucina	3.39	3.67
Leucina	6.46	6.62
Lisina	4.83	3.08
Metionina	1.89	2.00
Fenilalanina	4.38	4.52
Tirosina	3.78	3.84
Treonina	4.41	4.37
Triptófano	0.95	0.81
Valina	3.87	4.01
Arginina	8.97	9.18
Histidina	1.94	2.23
Alanina	4.15	4.41
Ac, Aspártico	9.70	9.90
Ac. Glutámico	18.50	19.50
Glicina	8.30	8.50
Serina	7.38	15.70

Fuente: Salazar, 1989; Pant 1985

Por otra parte, en la tabla 12 se muestra el perfil de aminoácidos de las hojas de amaranto comparado con el de otros cereales de consumo en México, en esta tabla se observa que son ricas en aminoácidos esenciales, debido a que contiene niveles mayores de leucina, lisina, isoleucina y treonina, haciendo a las hojas una mejor fuente de alimento nutritivo. Es recomendable comer las hojas tiernas y cocidas para evitar algunos agentes antinutrimientales como los oxalatos y nitritos.

Los cereales constituyen, para la mayoría de los países en vías de desarrollo, su principal fuente de alimentación y les proporcionen valores calóricos adecuados, pero no proporcionan los requerimientos óptimos de aminoácidos. Por eso, entre las estrategias utilizadas por algunos investigadores, para mejorar la calidad nutricional de estos alimentos, está el enriquecimiento proteico con fuentes no convencionales como el amaranto. Las proteínas de amaranto tienen abundante lisina, que es el aminoácido más escaso en otros cereales como maíz, arroz y trigo, por lo que, al combinar amaranto con estos, la lisina aumenta, permitiendo que se asimilen elementos que por falta de lisina se hubieran desechado, logrando una importante mejoría en la nutrición (Hernández y Herrerías, 1998).

Tabla 12. Contenido de aminoácidos en la hoja de amaranto comparada con otros cereales (g/100g).

<b>Aminoácido</b>	<b>Hoja de amaranto</b>	<b>Avena</b>	<b>Maíz blanco</b>	<b>Cebada</b>
Valina	4.80	5.5	4.3	5.4
Treonina	4.90	3.3	3.5	3.6
Azufrados	1.42	---	---	---
Isoleucina	5.01	4.3	3.5	4.4
Leucina	9.39	7.7	1.1	7.3
Aromáticos	4.90	---	---	---
Triptófano	1.55	1.3	0.08	1.5
Lisina	4.14	3.9	2.3	4.0

Fuente: (Mujica, 1997).

## 2.1.2 Carbohidratos

### 2.1.2.1 Almidón

El almidón es el carbohidrato más abundante en la semilla de amaranto, se reporta en un rango de 48 % para *A. Cruentus* y alrededor de 62 % para *A. hypochondriacus*. Se localiza en estructuras llamadas gránulos: los gránulos son pequeños (1-3 micras de diámetro) y de forma esférica, angular y poligonal (Teutónico, 1985), algunas de sus principales características se encuentran en la tabla 13.

Tabla 13. Características de los gránulos de almidón de las semillas de amaranto.

Característica
Tamaño: 1-3 micras
Forma: redonda/poligonal
Porcentaje de almidón en la semilla: 62% en base seca
Localización en la semilla: Perispermo
Más alta solubilidad y capacidad de ligar agua comparado con trigo

Fuente: Salazar y López, 1989; Irving *et al.*, 1985; Sugimoto, Yamada y Sakamoto 1981.

Además del tamaño pequeño de los gránulos, las características del almidón incluyen; una baja temperatura de gelatinización y buena estabilidad y resistencia al hielo-deshielo (Zhao y Whistler, 1994; Myers y Fox, 1994).

En el género de *Amaranthus* se han encontrado tres tipos de almidones basado en el contenido de amilosa: normal (19.4 - 27.8% de amilosa) waxy o glutinoso (0 a 1% de amilosa) y no waxy o no-glutinoso (6.6 - 12.6% de amilosa) (Konishi *et al.*, 2006).

La absorción de agua por el gránulo de almidón está relacionada con su tamaño, estructura y resistencia adhesiva. A cierta temperatura, los gránulos comienzan a hincharse, hasta romperse las débiles ligaduras de hidrógeno. Esto es la temperatura de gelatinización y es característica de la especie botánica y la variedad de la cual se obtuvo el almidón. La temperatura de gelatinización del almidón de amaranto es de 68°C. La temperatura de gelatinización depende de varios factores tales como: tamaño del gránulo (los más grandes tienden a hincharse y absorben agua antes que los pequeños), variedad de almidón, contenido de amilosa y amilopectina, pH, cantidad de agua y contenido de sales (Salazar y López, 1989).

La retrogradación es un proceso de transformación que ocurre cuando el almidón gelatinizado es almacenado a temperatura ambiente o en frío. Las moléculas de almidón gelatinizadas se aglomeran progresivamente mediante enlaces de hidrógeno, incrementándose la cristalinidad dentro del gel que forma una estructura ordenada. La velocidad de retrogradación depende de los mismos factores que la gelatinización y este fenómeno se ha observado en el grano de amaranto (Paredes - López, 1994).

Konishi *et al* (2006) reportan que al realizar análisis térmicos de gelatinización del almidón nativo y del almidón retrogradado de *Amaranthus caudatus*, los cuales fueron sometidos a un rango de temperatura desde 5 °C a 100 °C a razón de 1 °C/min; se observó que el proceso de gelatinización del almidón nativo comprende el hinchamiento de los gránulos, fusión de cristalitos y la hidratación de moléculas de almidón; mientras que la gelatinización del almidón retrogradado está principalmente relacionado a la fusión de los cristalitos de amilopectina. Además, menciona que se requiere una elevada temperatura para la gelatinización de los gránulos del almidón nativo, mientras que es necesaria una temperatura baja para iniciar la gelatinización del almidón retrogradado. Esta explicación, sustenta los resultados obtenidos, para los valores de temperatura de gelatinización del almidón nativo que fue 60.4 °C y 44.6 °C para el almidón retrogradado.

El almidón de amaranto (nativo o modificado) presenta diferentes alternativas en la industria de alimentos; ya que en productos enlatados, podría actuar como coloide protectivo, para reducir o prevenir la desnaturalización de las proteínas. Por otro lado, 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 (Mujica, 1997).

### **2.1.3 Lípidos**

El aceite de amaranto está compuesto en un 80.3 a 82.3 % por triglicéridos, 9.1 a 10.2 % por fosfolípidos, 5.1 a 6.5 por diglicéridos y en 3.0 a 3.5 por monoglicéridos (Tabla 14). Los ácidos grasos más abundantes son el linoleico (30 – 58 %), el oleico (19 – 38%) y el palmítico (11.5 – 21.3%) (Tabla 15), y posee una saturación de 25% (Carlsson, 1980). Teutónico y Knorr (1985) menciona que los lípidos totales en el grano de amaranto están en un rango de 5.4 a 17 %, y tienen un alto nivel de insaturación alrededor de 75%, además, su aceite es reconocido por ser la fuente vegetal con mayor concentración de escualeno, contiene niveles de entre 4.8 y 6.2 % (Tabla 14) (Tamer, 2006). Esto es importante porque, existen numerosos trabajos en la literatura que demuestran que ciertos tipos de lípidos, como el escualeno, los fitoesteroles y los polifenoles, contienen propiedades antioxidantes (Bressani, 2009; Li *et al.*, 2005; Berger *et al.*, 2003; Hernández y Herrerías, 1998 y Lyon y Becker, 1987), además, el escualeno es precursor de la biosíntesis de esteroides en el humano (Lehninger, 1981).

Esta alta cantidad de lípidos en el grano de amaranto es beneficiosa, ya que se puede utilizar para reducir la cantidad de grasa agregada, cuando se utiliza la harina de amaranto como ingrediente, en productos cocidos al horno tales como galletas y tortas, donde la grasa desempeña un papel importante en la textura y el sabor (Segura-Nieto *et al.*, 1994).

Tabla 14. Contenido de lípidos, fracción de lípidos y contenido de escualeno en amaranto.

Muestra	% Lípidos	Fracción de lípidos (% lípidos)				Escualeno % de aceite
		Triglicéridos	Diglicéridos	Monoglicéridos	Fosfolípidos	
<i>Amaranthus caudatus</i>						
Crudo	7.1	80.3	6.5	3.0	10.2	4.8
Harina de alto valor proteico	12.3	80.6	7.1	3.1	9.2	2.5
Cocinado	6.7	80.5	6.1	3.3	10.1	5.4
Reventado	6.9	80.4	6.8	3.6	9.2	6.2
<i>Amaranthus cruentus</i>						
Crudo	8.5	82.3	5.1	3.5	9.1	4.9
Harina de alto valor proteico	11.3	82.0	5.1	3.5	9.4	3.4
Cocinado	7.9	81.5	5.4	3.7	9.4	5.3
Reventado	8.2	81.3	5.6	3.8	9.4	5.8

Fuente: Tamer *et al*, 2006.

Tabla 15. Contenido de ácidos grasos en la semilla de *Amaranthus hypochondriacus*.

Ácido graso	Contenido (g/100 g)
A. oleico	29.3
A. linoleico	44
A. palmítico	18.4
A. linolénico	1.3
A. mirístico	0.2
A. miristoleico	0.1
A. miristolénico	0.1
A. palmitoleico	0.8
A. palmitolénico	0.9
A. esteárico	3.8
A. araquídico	1.2

Fuente: Mujica, 1997

Además, el contenido de ácidos grasos del aceite de amaranto, es similar al del maíz y al de otras oleaginosas como se muestra en la tabla 16. Es por eso que, se puede decir que la composición de ácidos grasos del aceite de amaranto, le confiere una buena calidad nutricional y permitiría explorar la posibilidad de comercializarlo.

Tabla 16. Contenido de ácidos grasos del amaranto comparado con otros cereales y leguminosas.

<b>Ácido Graso</b>	<b>% de Aceite</b>				
	<b>Amaranto</b>	<b>Maíz</b>	<b>Soya</b>	<b>Algodón</b>	<b>Palma</b>
16:0	18.8	11.0	10.7	25.2	44.0
18:0	3.8	2.0	3.9	2.7	4.5
18:1	24.1	24.1	22.8	17.5	39.2
18:2	51.0	61.9	50.8	12.6	10.1
18:3	0.8	0.7	6.8	---	0.4

Fuente: Bressani, 2006

### 2.1.4 Vitaminas

Los granos de amaranto son buena fuente de vitaminas, así como de minerales, lo cual favorece la buena alimentación de los individuos que los consumen (Tabla 17). Su buen balance de vitaminas, coloca al amaranto, comparado con otros alimentos de origen vegetal (acelga, espinaca), como un alimento de elevado aporte nutrimental.

Tabla 17. Contenido de vitaminas en el grano de amaranto en relación con otras hortalizas (en 100 gramos).

<b>Vitaminas</b>	<b>Amaranto</b>	<b>Acelga</b>	<b>Espinaca</b>
Vitamina A (U.I.)	6100	3300	8100
Tiamina (mg)	0.08	0.06	0.10
Riboflavina (mg)	0.16	0.17	0.20
Niacina (mg)	1.4	0.5	0.6
Vitamina C (mg)	80	30	51

Fuente: Modificada de Leung y Flores, 1961; Saunders y Becker, 1984.

Por otra parte, respecto a la vitamina A, cuya carencia es característica en la mayoría de los países tercermundistas, se ha demostrado que las hojas de amaranto son una fuente excelente de vitamina A (Tabla 18) y ésta durante el proceso de deshidratación de la hoja, no se ve afectada, por lo que se recomienda su ingesta en estado fresco o deshidratado (Saunders y Becker, 1984; Watt y Merrill, 1963).

Tabla 18. Contenido de vitaminas de las hojas de amaranto.

<b>Vitaminas</b>	<b>mg</b>
Tiamina	0.5 mg
Rivoflavina	0.2 mg
Niacina	1.2 mg
Vitamina C	65 mg
Vitamina A	1.6 mg

Fuente: Leung y Flores, 1961

### **2.1.5 Minerales**

La semilla de amaranto contiene principalmente potasio y calcio, además de magnesio, zinc, manganeso y hierro aunque en menor cantidad. Como se puede observar en la tabla 19, el amaranto supera los niveles de minerales comparado con el de otros cereales más comunes como el maíz, el centeno y el trigo (Sánchez Marroquín, 1981).

Tabla 19. Comparación de minerales contenidos en el amaranto y otros cereales.

<b>Mineral (mg/100 g)</b>	<b>Amaranto</b>	<b>Maíz</b>	<b>Arroz</b>	<b>Trigo</b>
Fósforo	600	256	---	372
Potasio	563	284	214	370
Calcio	303	158	32	58
Magnesio	344	147	106	160
Hierro	5.3	2.3	1.4	0.9

Fuente: Santin y Lazcano, 1986.

Es importante señalar, que el grano de amaranto tiene mayor cantidad de minerales que la leche materna como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Contenido de minerales en la semilla de amaranto comparado con la leche materna.

<b>Mineral</b>	<b>Amaranto (mg/100g)</b>	<b>Leche materna (mg/100 ml)</b>
Fósforo	600	455
Potasio	563	142
Calcio	303	162
Magnesio	344	8
Hierro	5.3	10

Fuente: San Miguel, 2008

Algo importante de mencionar es que, el contenido de minerales varía, dependiendo de la especie que se reporte y pueden contener cantidades que van desde 1000 a 1700 ppm de calcio, entre 2900 y 5800 ppm de potasio, entre 15 y 174 ppm de hierro, 2 ppm y 12 ppm de cobre y 400 a 2890 mg de magnesio (Tabla 21).

Tabla 21. Contenido de minerales en la semilla de diferentes especies de amaranto expresados en partes por millón (ppm).

<b>Especies</b>	<b>Sodio</b>	<b>Potasio</b>	<b>Calcio</b>	<b>Magnesio</b>	<b>Hierro</b>	<b>Zinc</b>	<b>Cobre</b>	<b>Manganeso</b>	<b>Níquel</b>
<i>Amaranthus Cruentus</i>	310	2900	1700	2440	174	37.0	12.1	45.0	1.8
<i>Amaranthus Hypochondriacus</i>	160	3800	1700	2300	106	36.2	8.2	23.0	1.9
<i>Amaranthus Edulis</i>	370	5800	1750	2890	84.2	40.0	8.0	22.0	2.4
Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán 1996 (a)	---	---	1000	400	15.0	15.0	2.0	---	---

Fuente: Muñoz, 1996

(a) Consumo recomendado por INNSZ.

Las hojas de amaranto tienen un alto contenido de calcio y magnesio debido a la gran cantidad de ácido oxálico que poseen las plantas en crecimiento (Sánchez Marroquín, 1981). El contenido de ácido oxálico, que es tóxico para el hombre, presentes en las hojas del amaranto, no supera el 4.6%, nivel que es inofensivo para la salud humana, puesto que estos se destruyen casi en su totalidad y con facilidad durante el proceso de cocción o con el tratamiento caliente-húmedo (Mujica, 1997). Las hojas presentan mayores contenidos de minerales que muchas hortalizas de hoja como: acelga, espinaca, verdolaga, etcétera (Tabla 22).

Tabla 22. Contenido de minerales de las hojas de amaranto comparado con una hortaliza como la espinaca (minerales por 100 g de porción comestible).

<b>Componente</b>	<b>Amaranto (mg)</b>	<b>Espinaca (mg)</b>
Calcio (mg)	267	93
Fósforo (mg)	67	51
Hierro (mg)	3.9	3.1
Sodio (mg)	---	71
Potasio (mg)	411	470

Fuente: Saunders y Becker, 1984

## **2.2 Calidad nutrimental y propiedades funcionales**

Tanto el grano como los tallos y hojas de amaranto tienen alto valor nutrimental. Con el grano de amaranto se preparan atoles, papillas y mazapanes. Estos productos de amaranto se siguen mejorando por combinaciones de harinas, para aportar alimentos de alto contenido nutritivo y gustativo, dirigido a la nutrición de niños, desde muy temprana edad. Ha sido considerado por la Organización Mundial de la Salud como uno de los alimentos recomendados para el futuro, y la NASA lo incluye como un alimento para un futuro lejano (Holística, 2000).

Las hojas de esta planta pueden consumirse como verdura hasta antes de su floración y si el cultivo tiene por objeto la producción de grano, entonces la parte vegetativa es capaz de ser aprovechable como forraje de alto valor alimenticio.

Las hojas pueden ser fuente de vitaminas y minerales esenciales como calcio, fósforo y hierro (Ruiz, 1990).

### **2.2.1 Calidad nutrimental y propiedades funcionales de proteínas**

La importancia del amaranto radica en que por lo general los cereales carecen de lisina, suficiente para la nutrición humana y son considerados incompletos, en cambio, la proteína

de amaranto contiene casi el doble de la lisina que contiene el trigo, el triple de la del maíz y aún más de la que existe en la leche (Ramírez, 2007).

Diversos informes han concluido que la proteína del amaranto es notablemente rica en lisina y contiene niveles aceptables de cisteína y metionina (Guzmán-Maldonado y Paredes-López *et al.*, 1990), demostrando que el amaranto es una fuente muy atractiva de proteína nutritiva para el consumo humano.

Las proteínas se emplean comúnmente como componentes nutritivos en base a su importancia en la dieta humana. Las mejores proteínas pertenecen a las fuentes obtenidas de animales como la carne, leche, etc. porque cumplen requisitos alimenticios humanos y porque tienen una funcionalidad provechosa. Sin embargo, el alto costo de las proteínas de origen animal hace de las proteínas vegetales el conducto dietético para la mayor parte de la población en el mundo.

#### **2.2.1.1 Propiedades funcionales de proteínas**

Para ser utilizado el amaranto en la industria alimentaria, las proteínas seleccionadas deben exhibir una amplia gama de características funcionales las cuales están estrechamente vinculadas a su estructura (Kinsella y Phillips, 1989). Las globulinas de las proteínas de almacenaje de la semilla de amaranto, tienen propiedades funcionales, ya que las globulinas – P poseen una composición polipeptídica semejante a las globulinas 11S (proteínas de reserva del amaranto), en la que se destaca la presencia de un polipéptido particular de 56 kDa, que aparentemente sería responsable de su alta capacidad de polimerización (Avanza y Añón, 2002).

El conocimiento de las propiedades funcionales de las proteínas es esencial para poder emplearlas como ingredientes, y que imparta las características deseadas para un alimento. Las principales fracciones proteicas presentes en el amaranto son albúminas, globulinas y glutelinas. Las dos últimas, constituyen las principales proteínas de reserva del grano y se encuentran localizadas en el embrión y en el endospermo.

Amarantin es una globulina de la semilla, contiene un buen equilibrio de aminoácidos esenciales, estabilidad al calor y características de emulsión, estas características hacen esta proteína un modelo conveniente para generar las cosechas transgénicas (Medina *et al.*, 2006).

Autran *et al.*, (2002) y Paredes-López *et al.*, (1990) (citados por Cordero *et al.*, 2005) mencionan que el uso de los aislados de la proteína, ha aumentado en la industria alimentaria, debido a su buena funcionalidad, su alto nivel proteico en base seca de hasta el 95 % y su bajo contenido de factores antinutrimientales.

Es sabido que existe una relación entre la estructura y las propiedades funcionales de una proteína y que la conformación proteica es afectada por el tratamiento térmico. Se ha observado que, la relación tiempo-temperatura, puede afectar las características estructurales y fisicoquímicas del amaranto, dependiendo de las fracciones proteicas presentes. Las propiedades funcionales, tales como la capacidad para actuar como agente espesante y gelificante, se ven modificadas por los cambios sufridos por las proteínas de los aislados como consecuencia del tratamiento térmico, lo cual delimita sus posibilidades de uso como ingredientes alimentarios (Avanza, 2004).

Las características funcionales de la proteína del amaranto influyen y colaboran en el diseño, innovación y reformulación de productos nutritivos, mejorando la calidad del proceso. Además pueden afectar las características sensoriales del alimento tales como color, sabor, aroma y textura. Las características tales como solubilidad, formación y estabilidad de espuma, viscosidad, adherencia y congelación son influenciados en gran parte por las características fisicoquímicas de las proteínas; tales como composición, conformación, hidrofobicidad y estabilidad termal (Lawrence y Nielsen, 2001; Schwenke, 2001; Cordero *et al.*, 2005).

Otra propiedad funcional de las proteínas de amaranto, es que son capaces de gelificar mediante tratamiento térmico, aunque por debajo de las temperaturas de desnaturalización de las proteínas y a baja concentración proteica no se observa la gelificación. La concentración y temperatura mínima para lograr la gelificación es de 7% p/v y 70°C, respectivamente (Avanza, 2004). Por lo que a mayor concentración proteica y temperatura de tratamiento, se detectan mayores valores de elasticidad.

La utilización de aditivos en la industria alimentaria que impartan características y estabilidad en los alimentos, es una práctica común hoy en día. Un ejemplo de esto, es el empleo de aislados de proteínas: principalmente proteínas vegetales, que ayudan a realzar las características de los productos además de mejorar el valor nutritivo. Las proteínas de amaranto podrían usarse de esta manera.

Aunque cada vez existen más estudios sobre las propiedades funcionales de las proteínas del amaranto, aún no es suficiente para lograr un completo aprovechamiento de las mismas, a continuación se presentan algunas propuestas de investigación:

- Caracterización diferencial de genes y proteínas expresados en hojas y raíces de amaranto bajo estrés hídrico y salino.
- Estudio bioquímico y espectroscópico de las proteínas del amaranto.
- Proteínas con actividad antifúngica.
- Los inhibidores de proteasas de plantas en la defensa de las plantas frente al estrés biótico y abiótico.

### **2.2.2 Calidad nutrimental y propiedades funcionales del almidón**

El almidón se almacena en el perisperma y representa entre el 48 y 69% de la semilla (Zhao y Whistler, 1994; Radosavljevic *et al.*, 1998) contiene baja cantidad amilosa, 5-8%, con respecto a cereales como el trigo, que contiene tres veces más (Baker y Rayas-Duarte, 1998). Por ello, las propiedades físico-químicas de los almidones del amaranto son diferentes (Lorenz y Collins, 1981) y hacen que sea inadecuado para la panificación, además, por no presentar gluten en el grano (Baker y Rayas-Duarte, 1998).

El almidón del grano de amaranto es fácilmente digerible. Varias características pueden explicar la alta digestibilidad observada en el almidón, como por ejemplo: el pequeño tamaño del gránulo de almidón, el bajo contenido de almidón resistente y de las dos fibras solubles, el alto nivel de amilopectina y la temperatura baja de gelatinización (Capriles *et*

*al.*, 2008). La digestibilidad de las semillas, harinas y fracciones-proteínicas y amiláceas es muy alta (80 a 92%) (Sanchez Marroquín, 1981).

Por otra parte, el reventado del grano, aumenta el contenido de almidón rápidamente digerible, el índice de hidrólisis y el índice glicémico, indican que las semillas de amaranto, tratadas por este método, tienen rápidamente una digestión completa del almidón.

La expansión con calor seco incrementa la digestibilidad del grano para la alimentación del hombre, la temperatura de reventado propicia un mayor aprovechamiento de los componentes de la semilla. La expansión al reventar depende de la gelatinización del almidón y presumiblemente, del endospermo que permite que se eleve la presión de vapor. Con la humedad natural de la semilla (10-15%), y al aplicar calor ocurre una gelatinización y expansión de los almidones contenidos en las células: inicialmente sin romper la pared celular, mas tarde se pudo precisar que la extensión por gelatinización puede ser particularmente regulada por el control de la humedad de la semilla (Yáñez *et al.*, 1986)

Yáñez *et al.*, (1986) reportaron que los geles de almidón de amaranto podrían tener aplicaciones en sistemas alimenticios que requieran estabilidad en condiciones medias y extremas de calentamiento, agitación y que no formen geles sólidos. Pueden también ser utilizados como agente estabilizante y espesantes, en formulaciones de cremas pasteleras, salsas, jaleas, helados, en sopas instantáneas, en alimentos enlatados y congelados.

Las películas biodegradables podrían ser una alternativa para aumentar sus usos y crear nuevos mercados, así como substituir el plástico sintético no degradable en usos farmacéuticos y de alimentos. Se han utilizado polisacáridos, proteínas y lípidos o una combinación de éstos para preparar películas comestibles. Entre los polisacáridos, el almidón es el más ampliamente utilizado en la elaboración de películas, debido a su bajo costo y abundancia en la naturaleza (Capriles *et al.*, 2008; Calzetta-Resio, 1999).

Es importante resaltar que el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento del almidón de amaranto, son usados como indicadores de la retención del agua, mientras que el índice de solubilidad indica el nivel de degradación de los polímeros contenidos en éste (Ruales *et al.*, 1993). El índice de absorción de agua es una medida indirecta del grado de

almidón gelatinizado por la cocción (Bressani y Estrada, 1994). Todas estas variables están relacionadas con la palatabilidad de los alimentos.

Como conclusión podemos decir que, dadas estas características del amaranto, se ha sugerido que la harina podría ser incorporada en la formulación de un alimento infantil de bajo costo y con alto valor proteico (Sánchez-Marroquin *et al.*, 1986; Del Valle *et al.*, 1993), en sopas instantáneas y salsas (Yáñez *et al.*, 1986) y en la preparación de espagueti (Rayas-Duarte *et al.*, 1996; Bejosano y Corke, 1998).

Además de tener un uso potencial como: plásticos biodegradables, cosméticos y estabilizadores de alimento, espesantes y gelificante para productos tales como salsas y sopas (Calzetta-Resio *et al.*, 1999).

### **2.2.3 Calidad nutrimental y propiedades funcionales de lípidos**

Se ha demostrado que el aceite de la semilla de amaranto presenta diversas aplicaciones nutraceuticas, como es la disminución del nivel de glucosa en sangre, combinado con otros cereales equilibra el patrón de aminoácidos, minerales y presenta un efecto hipocolesterolémico (Chaturvedi *et al.*, 1997). Además, los ácidos grasos son importantes para producir las prostaglandinas que regulan muchos procesos corporales, por ejemplo, la inflamación y la coagulación de la sangre. Por otro lado, el escualeno presenta propiedades biológicas que ayudan a disminuir la presencia de los radicales libres y aumenta la resistencia inmunológica. Además, se usa en la industria de cosméticos para la elaboración de cremas y bronceadores (He *et al.*, 2002; Amunziata *et al.*, 1999; Lehmann, 1996).

En cuanto al aceite de amaranto, es valorado por su capacidad para aportar estabilidad a altas y bajas temperaturas. Entre los usos comerciales del aceite de amaranto se incluyen alimentos, cosméticos, champús y productos intermedios para la fabricación de lubricantes, productos farmacéuticos, productos químicos de caucho, compuestos aromáticos y agentes tensoactivos. Como aceite comestible, el aceite de amaranto tiene un sabor delicado y agradable (Berger *et al.*, 2003).

La aplicación de procesos de cocción al grano de amaranto, ocasiona que se deba tener un control en la elaboración de productos de amaranto, particularmente si se utiliza harina.

Durante el proceso de reventado del grano, el amaranto es expuesto a temperaturas elevadas por corto tiempo, y en algunas ocasiones se expone a aire a contracorriente, para obtener un máximo rendimiento en volumen, lo que provoca la aparición de productos de oxidación proveniente de los ácidos grasos. Este proceso según Singhal y Kulkarni (1988), provocó un aumento del 15.5% en el contenido de escualeno. Mientras que Lyon y Becker (1987), indicaron que el refinamiento del aceite de amaranto es responsable del aumento en escualeno, en donde aumento de 6.96% a 8.01% con respecto al aceite. El escualeno es un compuesto isoprenoide similar en su estructura al beta-caroteno y es un metabolito intermedio en la síntesis de colesterol (Figura 18). No es muy susceptible a la peroxidación, sirviendo como protector a la exposición de radiación UV y radiación ionizante, además es precursor de la biosíntesis de esteroides en el humano (Lehninger, 1981). Por otra parte el escualeno ayuda a aumentar la resistencia inmunológica. Además de usarse para la elaboración de cremas y bronceadores. El principal uso terapéutico hoy día del escualeno, es como de terapia adjunta para una variedad de cáncer (Bressani y Rodas, 2009).

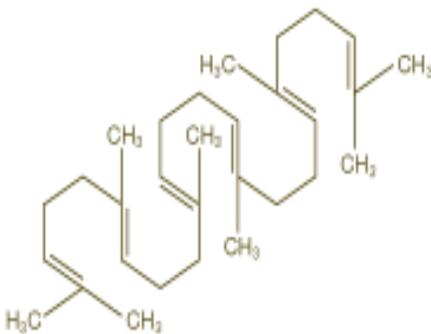


Figura 21. Estructura química del escualeno.

En resumen, las propiedades de los lípidos del amaranto son diversas, debido a que el aceite de amaranto es superior en calidad, por ejemplo al del maíz, ya que contiene altos niveles de ácido linoleico, esencial para el organismo humano y con fuertes propiedades antiinflamatorias que reducen el riesgo de trombosis y otras enfermedades cardiovasculares. Por lo tanto, sería importante procesarlo de manera industrial para poder comercializarlo y así mismo beneficiarse de las propiedades mencionadas y la posible sustitución de los aceites conocidos comúnmente.

## **Capítulo III Investigación tecnológica sobre amaranto**

### **3.1 Uso y transformación**

La década de los años 80's, marcó la pauta para la investigación del amaranto, se realizaron diversos estudios con respecto a las propiedades nutricionales y nutracéuticas de las distintas partes de la planta. Dichas investigaciones plantearon el uso del amaranto como enriquecedor o en su caso, como innovador de nuevos productos, entre las cuales destacan: el enriquecimiento del maíz con harina de amaranto en la elaboración de tortilla (Sánchez-Marroquín y Maya S., 1990), la fortificación de semolina con harina integral de amaranto (Sánchez-Marroquín *et al.*, 1990a). Además de la transformación de nuevos productos a base de amaranto como son: hojuelas, extruidos, bollos, mazapán, galletas, dulces, atoles y panes (Sánchez Marroquín, 1981).

Lamentablemente todas estas investigaciones se quedaron por un largo tiempo en el olvido, y nunca pudieron verse aplicadas a nivel industrial, solo de forma experimental, afortunadamente en la última década, estos estudios han servido como el pilar para continuar con las investigaciones y así, luchar por darle un lugar en la alimentación de la población mundial al amaranto. A continuación se muestran algunos usos de manera artesanal e industrial, así como avances de investigación que se tienen en la actualidad.

#### **3.1.1 Industrial**

En la industria, se utiliza el amaranto para obtener colorantes vegetales, debido a que algunas variedades de amaranto contienen dos pigmentos naturales: uno amarillo (amarantina) y otro rojo (betalaína), este último es usado en la industria alimentaria, porque la gran mayoría de los pigmentos rojos empleados actualmente son sintéticos y representan un alto riesgo para la salud humana. Además, puede usarse en la elaboración de gelatinas y bebidas a pH altos y para helados bajo condiciones selectas. Por su parte, la amarantina sirve para la producción de mayonesas y salsas de soja (AMA, 2003). Es importante

mencionar, que en la industria agroalimentaria se emplea un colorante sintetizado químicamente, conocido con el nombre de Amaranto y es de coloración roja, pero no debe confundirse con los colorantes naturales que se mencionaron anteriormente (Constanza, 2009).

En México, el deshidratado del follaje del amaranto, se utiliza como colorante natural rojo. Y en la industria cosmética, se reconoce que la betalaína producida por las variedades rojas del amaranto puede ser usada como rojo cosmético número 3.

Los colorantes artificiales: amaranto, rojo allura y la tartracina son algunos de los colorantes más usados en la industria de las golosinas y las bebidas sintéticas. Los mismos integran el grupo de los llamados “colorantes azoicos”, los cuales están cuestionados por sus posibles efectos perjudiciales para la salud. Esto hace resaltar la importancia de darle énfasis al desarrollo de plantas proveedoras de colorantes vegetales naturales entre las que destacan las que contiene el amaranto (Constanza, 2009).

También como productos del grano de amaranto, se pueden obtener alimentos altamente nutritivos, crudos, cocidos o precocidos como: concentrados proteínicos y productos para elaborar cremas instantáneas. Además, se pueden obtener concentrados proteínicos de la planta entera, tanto para uso humano como pecuario. Así mismo, el alto contenido de celulosa de los tallos del amaranto, se utiliza para la fabricación de cartones (Mujica, 1997).

El amaranto también es susceptible de ser utilizado para la alimentación animal, mediante la conservación bajo el sistema de ensilaje, obteniéndose 14.4% de proteína en el ensilado de hojas, 9.8% en el ensilado de tallos y 12% en el ensilado de la planta completa cosechada a los 90 días de la siembra (Cervantes, 1986).

En cuanto al proceso de tostado, es un tratamiento térmico que se utiliza a nivel industrial, no solo para mejorar las características organolépticas del alimento sino aumentar su digestibilidad; puesto que cuando el amaranto es sometido a dicho tratamiento cambian sus cualidades físicas y químicas, siendo este cambio deseable, ya que mediante el calor, la configuración del almidón y las proteínas se altera, haciéndolos más digeribles (Mujica, 1997; Sánchez Marroquín, 1981).

La siguiente etapa es la obtención de harina, tanto del grano crudo como tostado o precocido; éstas harinas se pueden envasar y se utilizan para hacer atole, pinole, sopas, papillas y budines (Mujica, 1997; Sánchez Marroquín, 1981).

### **3.1.2 Artesanal**

En México, la semilla de amaranto, es usada principalmente en la elaboración del dulce conocido con el nombre de alegría. La elaboración consiste en mezclar semilla de amaranto reventado con jarabe de piloncillo o miel de abeja. (Ramírez, 2007; Estudillo, 1992; Espitia, 1991; Salazar y López, 1989)

Algunas formulaciones propuestas a base de semilla de amaranto, como alternativas viables para impulsar el desarrollo de este cultivo son los siguientes: dulce de alegría, botanas de alegría, bebida de chocolate, papilla nutricional, harinas, hojuelas y pasta para sopa (ver Anexo I) (Espitia, 1991; Ruiz, 1990).

Para la alimentación humana se usa el grano entero o molido en forma de harina, ya sea tostado, reventado o hervido. Los granos reventados se consumen mezclados con miel de abeja, miel de caña o chocolate, dándole diferentes formas en moldes de madera o metálicos a las que se conoce como turrónes de kiwicha en Perú, alegría en México y tadoos en India (Mujica, 1997).

En México se prepara con las semillas tostadas, molidas o enteras, el conocido plato denominado atole y pinole, que es una especie de mazamorra (postre popular, elaborado sobre la base del maíz morado hervido). Del mismo modo se elaboran los tamales con harina de maíz, tallos y hojas de amaranto picadas (Salazar y López, 1989).

Los granos hacen una magnífica combinación con otros granos para alimentar aves de corral o preparar cualquier tipo de alimento balanceado para uso animal. Por los colores vistosos y formas caprichosas y variadas que presenta la inflorescencia del amaranto, se utiliza como planta ornamental en jardines y parques (Mujica, 1997).

Las hojas tiernas en remplazo de las hortalizas de hoja, se pueden combinar con los granos enteros o molidos para preparar desayunos, pasteles, panes, tamales, humitas, tortillas,

bebidas refrescantes y alcohólicas; la planta en estado fresco, hasta la formación de la inflorescencia, se utiliza como forrajera para la alimentación del ganado, sobre todo para combinar con otras especies forrajeras (Sánchez Marroquín, 1981). Además el follaje del amaranto puede ser utilizado para la producción de concentrados proteicos debido a su alto rendimiento de biomasa verde y alto contenido de proteína y su capacidad de sobrevivir en condiciones marginales de suelo (Masoni y Ercali, 1994).

Las diferentes partes de la planta de amaranto se pueden usar para curar. A continuación se muestran algunos usos medicinales (SDR, 2008):

- Hojas verdes para evitar la anemia.
- Grano reventado para prevenir osteoporosis.
- El aceite contenido en el grano es un antioxidante.
- Las hojas son astringentes y reguladoras menstruales.

## **3.2 Avances**

### **3.2.1 Avance tecnológico**

Las bases de los estudios existentes sobre los avances tecnológicos del amaranto, se originaron en México, a partir del año de 1983, donde el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, mediante un convenio celebrado con la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América, realizaron programas de fitomejoramiento de variedades o líneas criollas, así como de las ya producidas en los propios E.U.A., originarias unas de México y otras de diferentes partes del mundo (Sánchez Marroquín *et al.*, 1990).

Como resultado, obtuvieron una diversidad de perspectivas biotecnológicas con respecto al grano de amaranto. A continuación se presentan los esquemas elaborados de los diferentes

procesos y productos (Tabla 23), además del análisis químico de los productos. (Figura 22,23 y 24).

En la Figura 24 se muestran 3 rutas de aprovechamiento de las semillas de amaranto:

- Reventado con destino a confitería;
- Perlado con separación de una fracción proteínica y otra amilácea para diversos usos y
- Separación neumática de esas mismas dos fracciones y sus diversos usos.

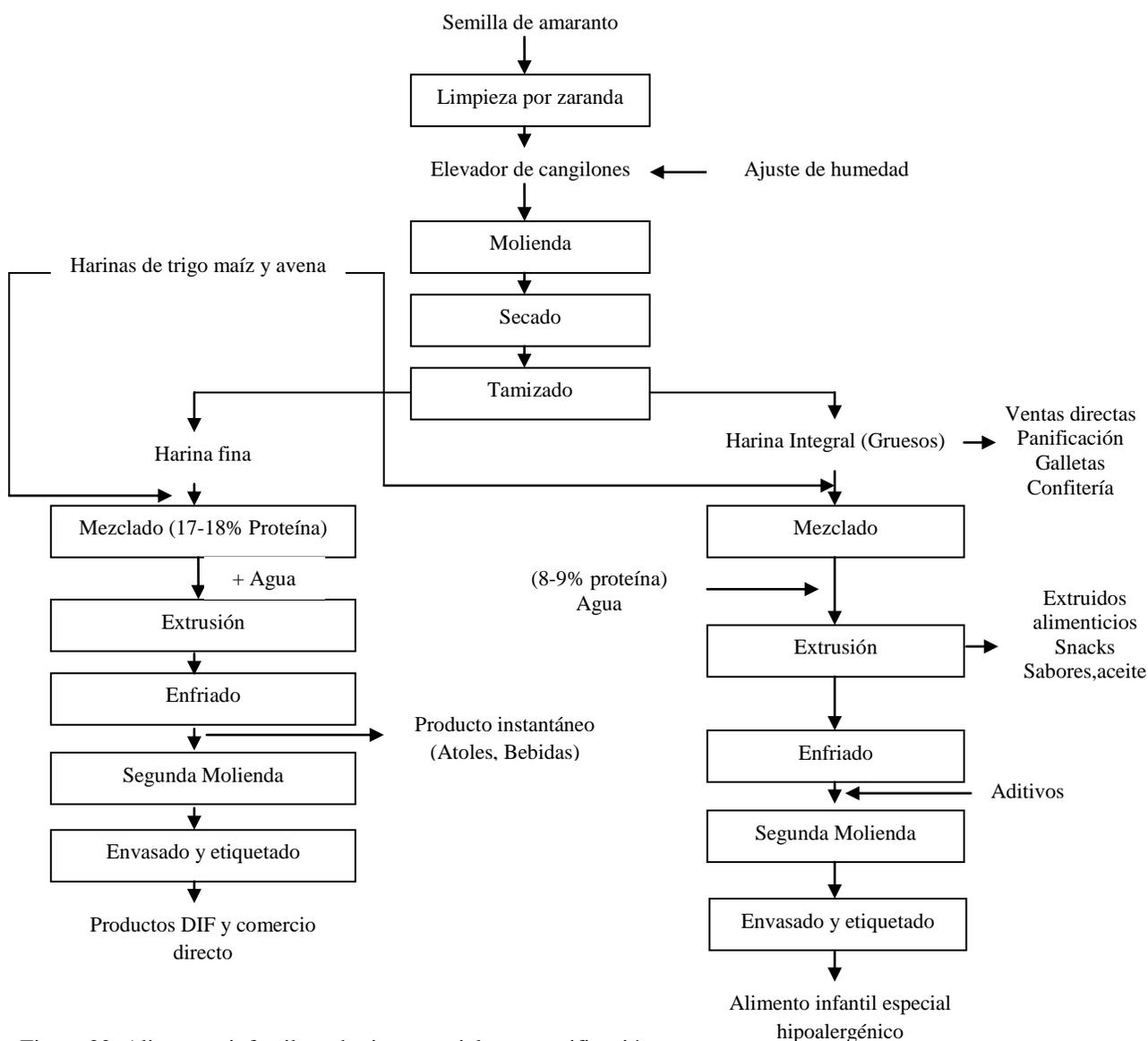


Figura 22. Alimentos infantiles y harina especial para panificación.

Fuente: Sánchez Marroquín, 1981

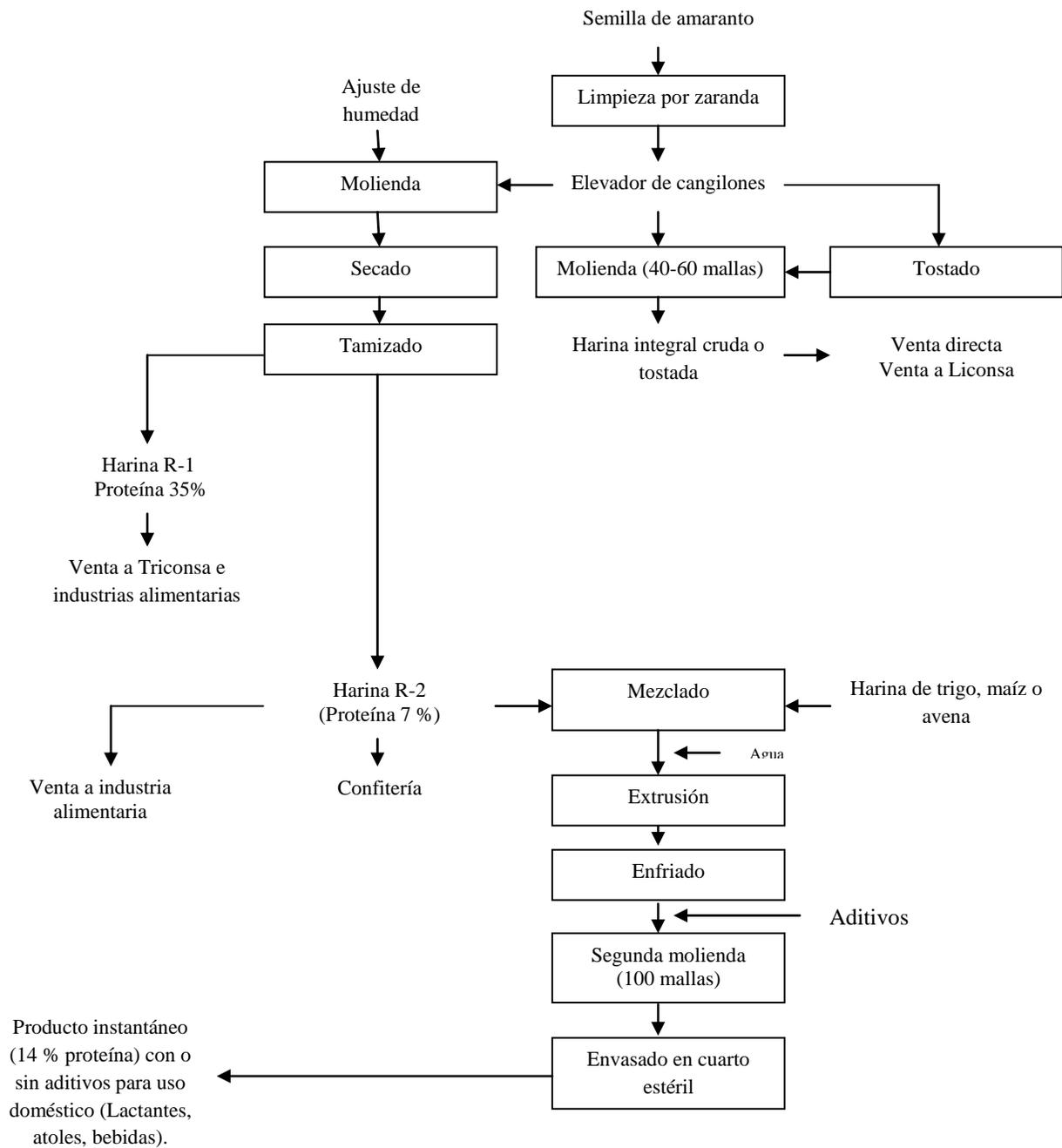
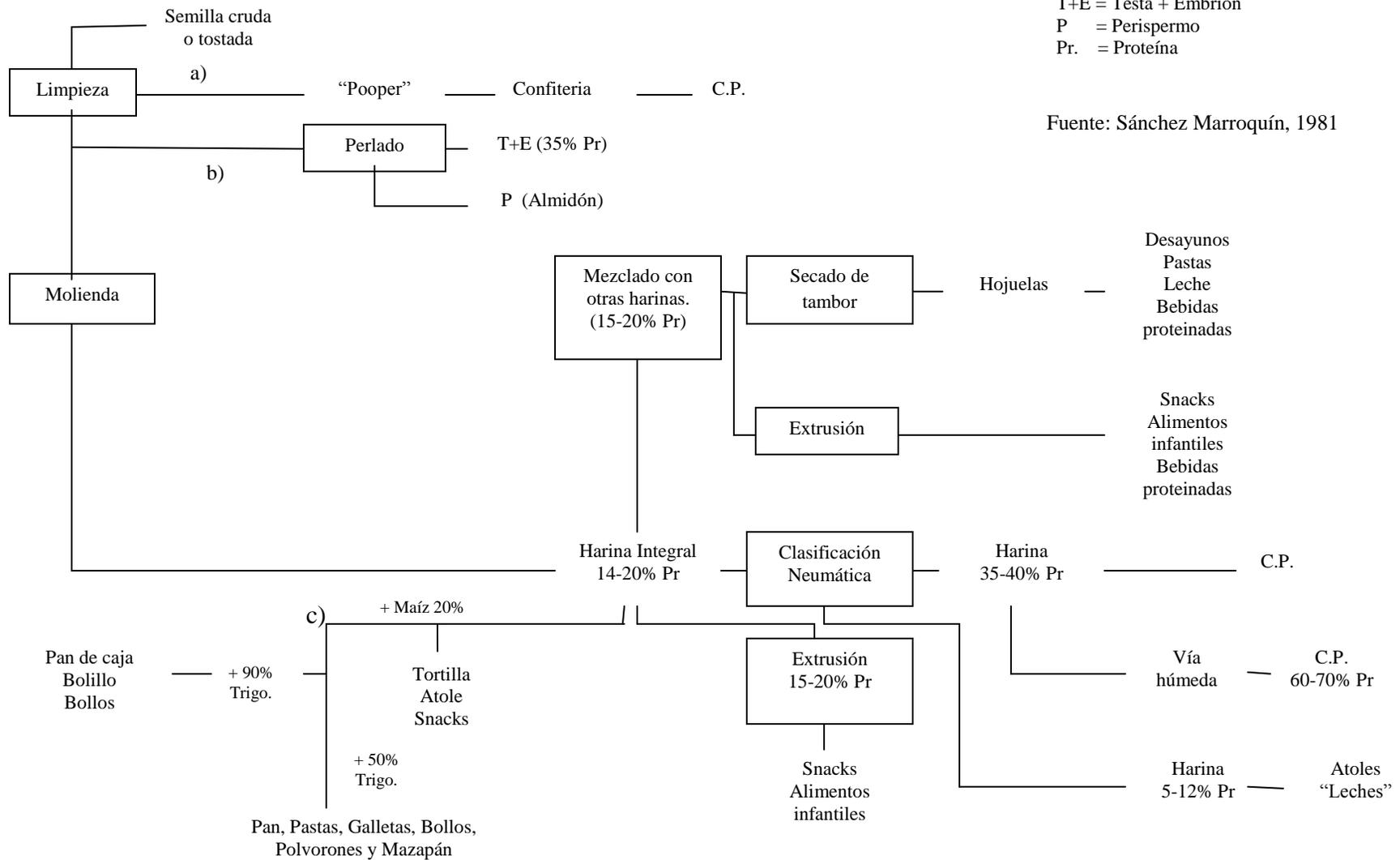


Figura 23. Harina Integral, Harina fina, Harina de semilla tostada y productos instantáneos.

Fuente: Sánchez Marroquín, 1981

Figura 24. Bosquejo general de procesos y productos.



C.P. = Concentrado Proteínico  
 T+E = Testa + Embrión  
 P = Perispermo  
 Pr. = Proteína

Fuente: Sánchez Marroquín, 1981

Tabla 23. Análisis proximal y calorías de los productos de amaranto.

Productos	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Cenizas %	CHO'S %	Kcal/100g
Hojuelas T+A (80:20)	6.50	14.26	1.99	0.91	76.34	378.0
Extruído T+A (80:20)	7.30	14.02	2.13	1.37	75.18	374.0
Micro – Pizza T+A (80:20)	10.50	11.75	13.25	3.38	61.12	413.0
Bollo T+1-R (50:50)	11.80	23.13	11.20	4.64	49.23	399.0
Bollo blanco	17.70	10.63	11.71	3.02	56.94	377.0
Mazapán T+A (80:20)	2.20	9.88	16.17	1.25	70.50	468.00
Palanqueta T+A (80:20)	1.70	9.63	6.97	1.54	80.16	418.0
Polvorón T+A (80:20)	1.00	12.94	24.87	2.25	58.94	518.0
Galletas T+A (80:20)	2.48	10.56	14.70	0.56	73.12	448.0
Galletas T+1-R (80:20)	2.10	17.40	13.39	2.45	64.66	453.0
Dulce (L+A)	2.00	19.40	30.00	1.55	47.00	536.0
Spaghetti (S+A 90:10)	8.10	12.10	0.86	1.07	77.87	368.0
Coditos (S+A 80:20)	13.20	13.50	1.14	1.51	70.65	347.0
Tortilla M+A (90:10)	40.50	11.40	2.90	1.45	43.75	247.0
Pan de caja T+A (90:10)	30.20	13.56	4.14	0.48	50.60	278.0
Gelatinizado T+A (50:50)	9.60	15.57	2.27	1.69	70.87	366.0
Atoles (M+1-R+LP)	84.93	4.63	1.34	0.72	8.38	64.0
Hojuelas M+A (90:10)	11.40	15.00	3.70	1.80	68.10	366.0

Fuente: Sánchez Marroquín, 1981

T= Harina de trigo    A=Harina integral de amaranto    M=Harina Minsa    S=Semolina de trigo  
 1-R=Fracción proteínica de amaranto (separación aérea)    LP=Leche en polvo

En la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez del Estado Carabobo en Venezuela, se elaboró una bebida instantánea a base de harina de amaranto (*Amaranthus cruentus*), harina de arroz y harina de maíz, suero de leche y leche en polvo con una formulación de 30%, 5%, 5%, 30%, y 30% respectivamente, con un contenido mínimo de 16% de proteínas y 350 kcal/100 g de alimento. Las formulaciones se procesaron en un secador de rocío hasta la obtención de un pulverizado con características de bebida instantánea la cual es una alternativa nutricional para los consumidores de bebidas instantáneas (Arcila y Mendoza, 2006). Para la elaboración del producto se aplicaron dos procesos: uno para la preparación de la harina precocida de amaranto y de arroz y otro para la obtención de la bebida instantánea según se señala en las figuras 25 y 26, respectivamente.

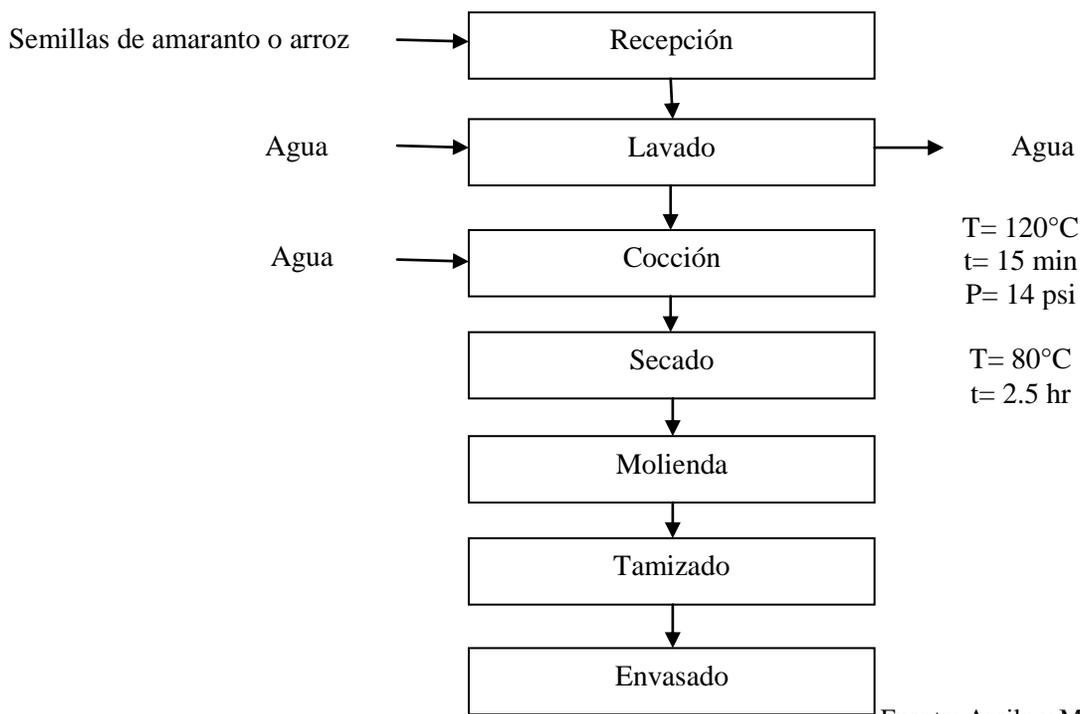
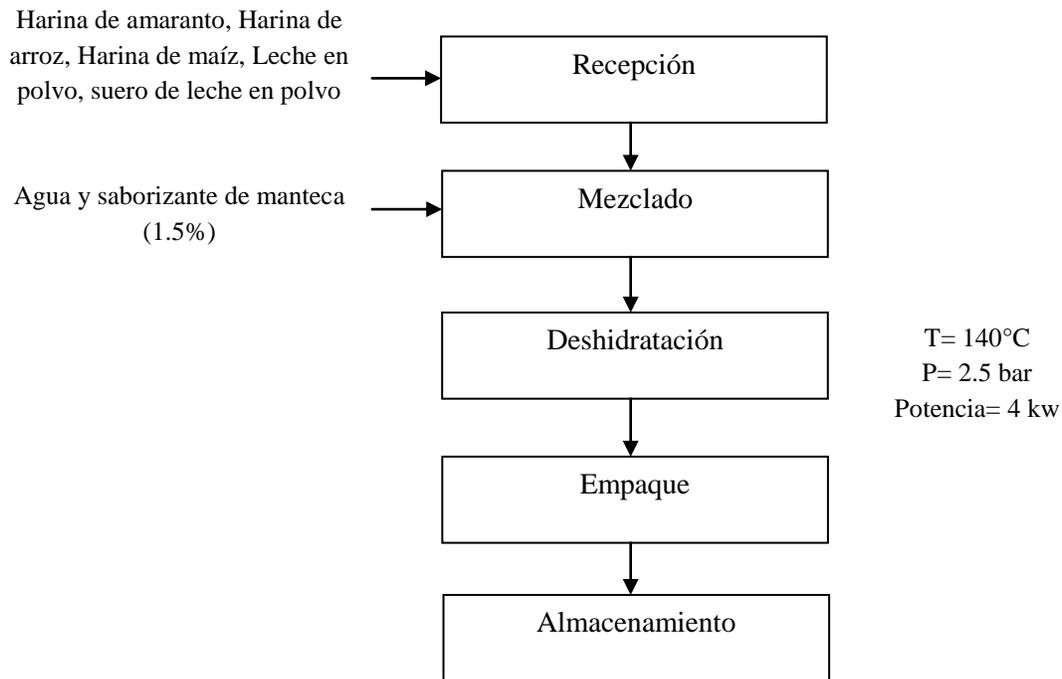


Figura 25. Diagrama de proceso para la elaboración de harina de amaranto y de arroz.



Fuente: Arcila y Mendoza, 2006.

Figura 26. Diagrama del proceso para la obtención de la bebida instantánea.

Adla Jaik y Jorge Tena (1990) en el CIIDIR (Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, Unidad Durango), observaron que el tostado durante 10 segundos a una temperatura de 168°C, no afectó el contenido de proteína, específicamente el contenido de aminoácidos (lisina y triptófano). En base a dichas experiencias diseñaron una tostadora con las siguientes características: tiempo de tostado, 10 segundos; temperatura de tostado, 168°C; peso de semilla, 100 gramos; área de la tostadora, 800 cm<sup>2</sup> (40 x 20); producción por hora, 36 kg/h; velocidad de caída de la semilla, 4 cm/seg; inclinación de la tostadora, 0.0115° (Figura 27).

Durante el procesamiento del amaranto, la limpieza, el acondicionamiento y el reventado de la semilla son las etapas críticas que deben realizarse con mucho cuidado para obtener buenos resultados. Experimentalmente se ha determinado que para el tostado del amaranto se debe utilizar porciones de 5 gramos, temperaturas que fluctúen entre 100 y 160°C y el tiempo de tostado de 7 a 18 segundos, debiendo previamente remojar los granos en agua e iniciar el proceso de tostado una vez secos (Mujica, 1997).

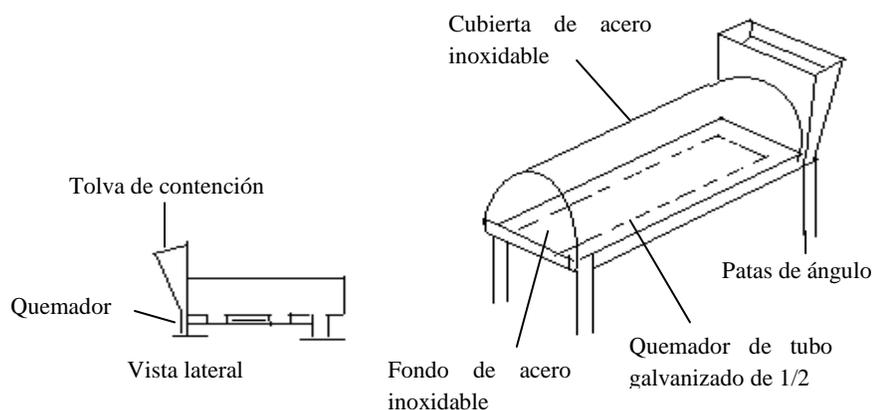


Figura 27. Prototipo de una tostadora de amaranto.

Fuente: Jaik y Tena, 1986.

Por otro lado, en el departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA) de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) se realizó un proyecto en el que se describen las actividades del diseño, fabricación y montaje de otra máquina reventadora de amaranto. Primero, se caracterizaron las propiedades físicas del amaranto para obtener los parámetros de diseño que se utilizaron para la selección y fabricación de los diferentes elementos de la máquina. Producto de este trabajo, se propuso un tipo de máquina que funciona con un intercambiador de calor y con aplicación directa del quemador a la entrada del ventilador. Se diseñó y fabricó el equipo, utilizando los procesos de manufacturas de corte, doblado, soldadura y ensamble de los diferentes materiales que constituyen la máquina.

Se realizaron las pruebas del equipo en vacío y con carga. Se llevó a cabo la instalación electromecánica de la máquina, en el estado de Tlaxcala.

Las principales características del equipo son (Muñoz *et al*, 2005):

- La máquina reventadora, el intercambiador de calor, la tolva, el transportador de granos y la cribadora vibratoria están fabricados de acero inoxidable tipo 304.

- Tiene un ventilador centrífugo y un sistema de recirculación de aire caliente para economizar gas.

Un intercambiador de calor para calentar el aire indirectamente y que el amaranto no esté en contacto directo con el gas producto de la combustión, la fuente de calor es un quemador automático tipo turbina.

- Consta de un mecanismo de cambio de operación para que trabaje con la modalidad de combustión directa, mediante un quemador atmosférico semiautomático colocado en la boca de entrada del ventilador.
- Cribadora vibratoria para separar los granos reventados.
- Transportador tipo sinfín para conducir los granos a la tolva.
- Tolva con capacidad de 500 litros.
- Tableros de control del ventilador, quemador automático, transportador de granos y cribadora vibratoria.
- Termómetro digital.

Como se pudo ver, el amaranto es un cultivo que tiene muchas ventajas, tanto desde el punto de vista agrícola, como desde el punto de vista nutricional. El apoyar económicamente y académicamente a su cultivo y consumo dejaría fructuosos beneficios en todos los sentidos. Las aplicaciones del amaranto van mejorando cada vez más y ya no se limitan tan sólo a la utilización de las semillas o las hojas, sino que se ven otras posibilidades como colorantes, harinas, bebidas, etcétera. La introducción de este cultivo en zonas de riesgo de temporal representa un salvavidas a los productores. Cabe destacar que se deben mejorar todos los aspectos que circundan a las actividades agrícolas como son la compra y venta de maquinaria, manejo, manufactura y comercialización del grano o de sus productos. Para optimizar el procesamiento y transformación del amaranto es necesario considerar algunos factores importantes tales como: tecnología de postcosecha (calidad del grano, estabilidad al ser almacenado, características físicas y químicas del grano,

propiedades funcionales, comportamiento de procesamiento y desarrollo de productos), calidad nutritiva (calidad proteínica, disponibilidad de la energía, efecto complementario y suplementario) e incluso producción y rendimiento del cultivo que permita obtener ingresos adecuados al productor.

### **3.2.2 Investigación**

En el Primer Seminario Nacional del Amaranto se presentó el trabajo de fortificación de semolina con harina integral de amaranto, en proporciones de 10, 20, 40 y 50. Los resultados obtenidos mostraron una discreta elevación del contenido de proteína, un mejor balance de aminoácidos y una eficiencia proteínica superior sin aceptar el grado de aceptabilidad. Se concluyó que la fortificación de la semolina de trigo con harina integral es un método recomendable para enriquecer nutricionalmente dos tipos de pasta alimenticia de gran consumo popular (Sánchez-Marroquín *et al.*, 1981).

Granados, H., Maya, S. y Carmona, A. (1991) realizaron estudios sobre el valor nutritivo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* Tipo Azteca) en la rata albina (*Rattus norvegicus albinus*). Por un lado analizaron el crecimiento comparativo de purina sola y combinada con amaranto, obteniendo como resultado un mayor crecimiento en grupos que consumieron amaranto crudo y tostado. Por otro lado, estudiaron la reproducción comparativa de Purina sola y mezclada con amaranto, en el cual concluyeron que el mejor record reproductivo en ratas Wistar se obtuvo con Purina mezclada con semillas de amaranto tostado, mientras que el más bajo se registró con Purina sola y con amaranto reventado.

En la Universidad de Hong Kong, se ha estado trabajando en la extracción de las betalainas (pigmentos rojos naturales en el amaranto) para evaluar el color y su estabilidad a diferentes temperaturas en gelatinas y helados. Los resultados que encontraron son; que las betalainas dan un color más brillante que el color comercial y su estabilidad es similar en 20 semanas de almacenamiento a menos de 14°C o después de su almacenamiento inicial durante cuatro semanas a menos de 25°C, pero pierde estabilidad a 37°C. No es tan estable en comida sintética, fármacos y rojo cosmético #3. El ácido ascórbico tiene un efecto

protector del pigmento. Para las gelatinas y helados un exceso de sacarosa mayor a 16% baja la estabilidad de los pigmentos. Su uso se recomienda en gelatinas y bebidas a pH altos y para el helado bajo condiciones selectas (Galindo, 2001).

Integrantes del Instituto de Química de la UNAM, encabezados por Manuel Soriano García, elaboraron una bebida altamente nutritiva de amaranto para consumo en individuos o pacientes con algún tipo de desorden metabólico, problemas de osteoporosis, dolores musculares o depresión.

El producto, en proceso de ser patentado, contiene un mejor balance de aminoácidos en su composición, porque sus proteínas son ricas en lisina, triptófano y en aminoácidos azufrados, esenciales para la salud, informó la UNAM en un comunicado (Boletín UNAM-DGCS-126, 2008).

La combinación resultante cumple con los requerimientos recomendados por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) para una óptima nutrición humana.

Además, es rica en ácidos grasos poli-insaturados que incluyen omega-6, omega-3 y escualeno, que ayuda a disminuir el colesterol en la sangre. También contiene agentes antioxidantes como los tocoferoles (alfa hasta delta) y tocotrienoles; así como calcio, elemento esencial de los dientes y los huesos (como hidroxifosfato de calcio) y en numerosos fluidos corporales.

También contiene hierro, componente esencial de la hemoglobina, que transporta el oxígeno de la sangre a todo el organismo, y juega un papel vital en diversas reacciones metabólicas.

Esta bebida, aseguró el químico de la UNAM, es agradable y está elaborada sólo con la semilla del amaranto; no incluye conservadores, colores o sabores naturales o sintéticos adicionados. También se contempla la creación de otros productos como las mayonesas y los aderezos.

Por otro lado, el Dr. Manuel Soriano realizó trabajos sobre el estudio bioquímico y espectroscópico de las proteínas del amaranto y actualmente investiga las proteínas con actividad antifúngica. Y actualmente tiene como línea de investigación la estructura, dinámica, estabilidad y función de proteínas con interés en la agricultura y la alimentación (Lipasas de germen de trigo y proteínas de almacenamiento en el Amaranto).

En la Facultad de Química de la UNAM, Fabiola Huerta Hernández (2004) trabajó en el desarrollo de alimentos (botanas tradicionales) con concentrado proteínico de amaranto basado en el estudio fisicoquímico y en las propiedades de textura. En esta investigación se sugiere que el enriquecimiento se lleve a cabo con una fracción de amaranto rica en proteína que proporcione un elevado contenido de nutrientes y al mismo tiempo los gastos en la suplementación sean menores, logrando con esto que las propiedades funcionales y sensoriales no se distingan alteradas con respecto a las botanas tradicionales.

Como resultado, determinaron que la formulación con harina de amaranto en un 40% y 20% de almidón de maíz, no presenta diferencia significativa en el contenido de proteína y perfil de aminoácidos con respecto a la formulación de botana-amaranto que contiene 25% de concentrado de amaranto, en donde la suplementación no afectó las propiedades funcionales que caracterizan al producto, resaltando que el contenido de humedad en las botanas es un factor crítico que se debe controlar para no afectar la calidad del producto.

Por otra parte, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Claudia Alejandra Cabrera Arriaga (2007), desarrolló una formulación de pasta para sopa tipo tallarín a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) la cual tiene, como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto, conservando sus propiedades de calidad culinaria y mejorando su calidad nutrimental. Esto con el objetivo de tener una pasta para sopa a base de amaranto con características de calidad tan aceptables como una pasta comercial de trigo, pero con mayor aporte nutrimental por su alto contenido de proteína para poder contribuir de manera importante a elevar el aporte nutricional de los consumidores.

Al final, obtuvieron un producto con un mejor valor nutrimental, debido a un buen contenido de proteína y adecuado balance de aminoácidos del grano, logrando un producto

que representa una buena opción para mejorar la dieta de la población y ayudar de manera importante a disminuir la desnutrición en nuestro país.

En el CINVESTAV-Irapuato del Instituto Politécnico Nacional se han hecho diversas investigaciones con el amaranto, por ejemplo; el Dr. Luis Arturo Bello Pérez estudia la caracterización del almidón de amaranto, así como los componentes de este almidón, usando técnicas microscópicas, moleculares, fisicoquímicas y estructurales, actualmente trabaja en el uso de la harina de amaranto para elaboración de películas biodegradables.

Por otra parte la Dra. Ana Paulina Barba De la Rosa realizó trabajos sobre la caracterización bioquímica de proteínas de reserva de amaranto, caracterización de un gen de globulinas 11S y de biopéptidos activos, caracterización proteómica de proteínas en respuesta a estrés abiótico en hojas y raíces de amaranto y caracterización de genes diferenciales en respuesta a estrés salino en hojas de amaranto. En este momento estudia la caracterización diferencial de genes y proteínas expresados en hojas y raíces de amaranto bajo estrés hídrico y salino (Paredes-López *et al.*, 1994).

El Dr. Octavio Paredes López realizó proyectos dedicados a determinar las características alimentarias y nutraceuticas del amaranto así como el desarrollo de procedimientos tecnológicos para el aprovechamiento del amaranto. En la actualidad se ocupa de una de las proteínas que tiene propiedades antihipertensivas. Se ha modificado esta proteína para aumentar este comportamiento y se ha clonado en un microorganismo para que éste la produzca en grandes cantidades (Paredes-López, 1994).

La Dra. Silvia Valdés Rodríguez estudió los inhibidores de proteasas presentes en el amaranto, pues se cree que participan en la defensa de las plantas frente al estrés biótico y abiótico, de semillas de amaranto aisló y purificó inhibidores de proteasas, después de caracterizarlos bioquímicamente, se aislaron algunos genes que codifica para éstas proteínas y se evaluó su papel en planta sometida a diferentes tipos de estrés. La producción de inhibidores recombinantes en *E. coli*, permitió demostrar su efecto adverso sobre el crecimiento y desarrollo de algunos hongos fitopatógenos. Actualmente se encuentra en un proyecto sobre el efecto de los inhibidores aislados de amaranto sobre insectos y hongos fitopatógenos (Paredes-López, 1994).

En la UAM, el Dr. Jorge Soriano realizó trabajos sobre el análisis granulométrico de una harina de hoja de amaranto deshidratada, para la elaboración de una bebida de fibra dietética. También sobre la caracterización parcial de las proteínas solubles en sulfato de sodio de un concentrado proteínico del grano de amaranto y sobre la influencia de parámetros físico-químicos en la solubilidad del nitrógeno de semilla de amaranto

La Dra. Martha Lydia Macías Rubalcava del Instituto de Ecología de la UNAM, ha realizado trabajos experimentales, donde seleccionó, al amaranto para evaluar el efecto fitotóxico de diversos extractos orgánicos y de metabolitos secundarios aislados de plantas y microorganismos. Determinaron cuantitativamente el potencial fitotóxico de los extractos orgánicos derivados de plantas y microorganismos y de los compuestos puros aislados de los mismos, mediante la evaluación del efecto sobre la respiración, la germinación, el crecimiento de la raíz y la biomasa de *Amaranthus hypochondriacus*. Los bioensayos se realizan en cajas de Petri empleando el método de dilución en agar. El efecto fitotóxico se registró después de 24 hrs. Actualmente se encuentra trabajando en estudios sobre los aspectos químicos involucrados en las complejas relaciones alelopáticas planta-planta y planta-microorganismoo, y que está enfocada básicamente sobre:

1. Detección, aislamiento y caracterización de agentes aleloquímicos de plantas y hongos.
2. Determinación del potencial alelopático de los aleloquímicos, mediante la evaluación de sus efectos sobre la germinación y el crecimiento de diferentes especies vegetales y sobre el crecimiento de hongos endófitos y fitopatógenos.
3. Investigación del posible papel ecológico de los aleloquímicos aislados de hongos y plantas.
4. Colaborar en el posible desarrollo de nuevos agentes de plaguicidas biodegradables y con menor impacto ecológico.

Tabla 24. Directorio de Investigadores que trabajan actualmente con el amaranto.

<b>Investigador</b>	<b>Organismo</b>	<b>Estudio</b>
M. en C. Enrique Martínez Manrique  Tel. 56231999 Ext. 39428 enriquemm_86@yahoo.com.mx	UNAM  FES-Cuautitlán	Elaboración de nuevos productos alimenticios
Dr. Luis Arturo Bello Pérez  Tel. (01735) 394 20 20 labellop@ipn.mx abello@hotmail.com	CINVESTAV-IPN  Irapuato	Elaboración de películas biodegradables
Dra. Ana Paulina Barba De la Rosa  Tel. +52 (444) 8342000 Ext. 2082 Fax: +52 (444) 8342055 apbarba@titan.ipicyt.edu.mx	CINVESTAV-IPN  Irapuato	Caracterización diferencial de genes y proteínas
Dr. Jorge Soriano Santos  Tel. 58046490 jss@xanum.uam.mx	UAM Iztapalapa	Estudio de las proteínas del amaranto.
Dr. Manuel Soriano García  Tel. (525)-622-45-69 Fax: (525)-616-22-03 soriano@servidor.unam.mx	UNAM  Instituto de Química	Proteínas con actividad antifúngica
Dra. Martha Lydia Macías Rubalcava  Tel. +52(55) 56-22-90-43 mmacias@ecologia.unam.mx	UNAM  Instituto de Ecología	Estudio de metabolitos secundarios
Dr. Octavio Paredes López  Tel. +52 (462) 6239641 , 674		Propiedades antihipertensivas y

oparedes@ira.cinvestav.mx	CINVESTAV-IPN Irapuato	nutraceútics.
Dra. Silvia Valdés Rodríguez Tel. +52 (462) 6239638 svaldes@ira.cinvestav.mx	CINVESTAV-IPN	Efecto de los inhibidores de proteasas

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista agronómico, el cultivo del amaranto es más que apropiado para aquellas zonas con agricultura dependiente de la presencia de lluvias, sobre todo donde es escasa y mal distribuida, por sus características fisiológicas y morfológicas que le confieren resistencia a la sequía. Además, puede asociarse con otros cultivos como el maíz y tiene potencial para superar en rendimiento y rentabilidad a los cereales básicos como el maíz, trigo y arroz.

Por otra parte, a pesar de todas las cualidades que posee el amaranto y de todos los esfuerzos que en los últimos años se ha hecho por lograr que el amaranto recupere un lugar en la alimentación básica de la población, existe un rezago, en cuanto a desarrollo productivo, tecnológico y comercial en México. Mientras que, es sobresaliente como ha crecido el interés científico y agrario, en torno al amaranto, en países como: China, Perú, Argentina, India y algunas naciones europeas, que han establecido programas para el desarrollo del amaranto como cultivo. Por esa razón, China se convirtió en el principal productor de amaranto en el mundo desde 1997, con la siembra de 100 000 hectáreas y en 2007, ya sembraba 150 mil hectáreas. Esto nos lleva a concluir que, si no se hace algo para activar el desarrollo productivo, tecnológico y comercial del amaranto en México, se perderá la oportunidad de tener un producto con alto valor agregado para exportarlo y por el contrario, como pasa con otros productos, seremos importadores de países como China o India.

Por lo tanto, sería importante estimular el asesoramiento económico y tecnológico para mejorar y diversificar la producción a escala industrial en México. Además, implementar programas de capacitación a los productores sobre el manejo agronómico y su vinculación con el incremento del rendimiento del cultivo e invertir en programas de capacitación en materia de manejo, mantenimiento y seguridad industrial de maquinarias de proceso y transformación. Y con esto lograr un aumento en el rendimiento del cultivo y mejorar el grado de competitividad contra otros granos básicos.

El estado actual del amaranto, desde el punto de vista nutricional y alimentario se resume en lo siguiente: es un alimento completo, cuenta con los ocho aminoácidos esenciales y en

las concentraciones requeridas en la dieta diaria de una persona, así como también lípidos de buena calidad, vitaminas y minerales. Esto es de gran importancia porque es bien sabido que la carne ocupa un lugar privilegiado en la sociedad por su contenido proteico, aunque por sus altos precios no está al alcance de toda la población, lo que hace que el estado nutricional de la gente en condiciones de pobreza sea deficiente, sobre todo en proteínas. Esto hace del amaranto una opción viable a explotar para mejorar los índices de calidad alimentaria, mediante una posible sustitución o complementación en los alimentos, logrando mejorar la salud de la población.

En cuanto a las condiciones de investigaciones tecnológicas en que se encuentra el amaranto, se ha concluido que, la problemática radica en los siguientes puntos:

- Escasa y poco difundida la información que contribuya en la innovación de nuevos productos.
- Falta de conocimiento mercadológico para lograr la colocación de productos en el mercado.
- Problemas con variaciones de costos tanto del grano como en productos elaborados con amaranto.
- Alta competencia con otros granos y bajo consumo por falta de difusión y producción a nivel industrial.

Por lo que es necesario, realizar estudios de mercadeo a nivel regional y nacional, elaborar un plan estratégico en materia de comercialización, promoción y difusión, para lograr el posicionamiento del amaranto en el mercado, que incluya las cualidades de la materia prima y el producto final y promover el desarrollo de nuevos productos a nivel industrial.

Por último, es imprescindible impulsar el desarrollo de proyectos de investigación aplicada, enfocándose en la exploración de estudios especializados sobre el amaranto. A continuación se presentan algunos temas en los que ya se hace investigación pero que sería importante complementarlos y profundizar en ellos:

- Caracterización de genes que generan tolerancia a la sequía
- Identificación de proteínas con actividad antifúngica
- Estudio de metabolitos secundarios con potencial para el posible desarrollo de nuevos agentes herbicidas biodegradables y con menor impacto ecológico.
- Detección, aislamiento y caracterización de agentes aleloquímicos de plantas y hongos.
- Generar nuevos materiales genéticos adaptados a diferentes condiciones ambientales.
- Identificar metabolitos secundarios de importancia industrial y con posible efecto en la defensa contra el ataque de insectos y patógenos

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M. S. y de la Rosa, T. L. (2007). Producción orgánica de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*) en los municipios de Atzitzihuacan y Tochimilco, Estado de Puebla. México.
- Annunziata, C., Massaro, M. y Siculella, L. (1999). Oleic acid inhibits endothelial activation. *Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology* . 19: 220-228.
- Arcila N. y Mendoza Y. (2006). Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en la alimentación humana. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Núcleo Canoabo. Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 23: 110-119
- Avanza, M. V. y Añón, M. C. (2002). Modificaciones de las proteínas de amaranto por tratamiento térmico. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura – UNNE. Argentina.
- Avanza, M. V., Puppo, M. C. y Añón, M. C. (2004). Propiedades reológicas de geles de proteínas de amaranto. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura – UNNE. Argentina.
- Autran, D., Huanca-Mamani W. y Vielle-Calzada, J. (2002). Genomic imprinting in plants. En: Goodman, R. (ed.), *Encyclopedia of Plant and Crop Sciences*. p. 2176.
- Baena, G. y Montero, S. (1996). Tesis en 30 días. Lineamientos prácticos y científicos. México. Editores Mexicanos Unidos, S.A.
- Baker, L.A. y Rayas-Duarte P. (1998). Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugar. *Cereal Chemistry*. 75(3):308-314.
- Becker, R., Grosjean O.K., Lorenz K., y Stanford A.E. (1981) A compositional study of amaranth grain. *Journal Food Science*. 46 (6) 1175-1180
- Berger, A., Gremaud, G., Baumgartner, M., Rein, D., Monnard, I., Kratky, E., Geiger, W., Burri, J., Dionisi, F., Allan, M. y Lambelet P. (2003) Cholesterol-lowering properties of amaranth grain and oil in hamsters. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. Feb; 73(1):39-47.

- Bejosano, F.P. y Corke, H. (1998). Effect of amaranthus and buckwheat proteins on wheat dough properties and noodle quality. *Cereal Chemistry*. 75(2):171-176
- Bosch G. C. (1978). “Latinoamérica: Una interpretación global de la dispersión en el siglo XIX”. México. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM, Instituto de investigaciones históricas. 437 p.
- Brenner, D. (1990). Seed shattering control with indehiscent utricles in grain amaranths. *Legacy*. 3 (1): 2-3
- Bressani, R. y Rodas B. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 59 N° 1
- Bressani, R., (2006). Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto, caracterización nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento. Universidad del Valle de Guatemala. 53 pp
- Bressani, R. y Estrada-Ligorria L. (1994). Effect of lime cooking of grain amaranth on selected chemical components and its protein quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42(9):1998-2001
- Bressani, R. (1989). The proteins of grain amaranth. *Foods Reviews International*. 51: 1338.
- Bressani, R, González J.M., Zúñiga J., Breuner M. y Elías L.G. (1987). Yield, selected chemical composition and nutritional value of 14 selections of amaranth grain representing four species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 38:347 – 353.
- Bressani, R., (1983). Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. El amaranto y su potencial. Boletín No. 3. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. INCAP. Guatemala.
- Calzetta-Resio, A., Aguerre, R.G. y Suárez, C. (1999). Analysis of the sorptional characteristics of amaranth starch. *Journal of food Engineers*. 42:51-57
- Capriles, V.D., Coelho, K.D., Guerra-Matías A.C. y Aréas J.A.G. (2008). Effects of Processing Methods on Amaranth Starch Digestibility and Predicted Glycemic Index. *Journal of Food Science*. Vol. 73, No. 7

- Carlsson, R. (1980). Quantity and quality Amaranths grain from plants in temperate, cold and hot and subtropical climates. A review. In: Proceedings of the Second Amaranth Conference, Rodale Press, Emauss, PA. 48 pp
- Cervantes, M.J. 1986. El amaranto como alimento para animales. p. 354-360. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo , México
- Chaturvedi A, Sarojini G, Nirmala G, Nirmalammay N y Satyanarayana D (1997). Glycemic index of amaranth grain, wheat and rice in NIDDM subjects. Plant Foods for Human Nutrition. 50: 171-178.
- Clark, K.M. y Myers R.L. (1994). Intercrop performance of pearl millet, amaranth, cowpea, soybean and guar in response to planting pattern and nitrogen fertilization. Agronomy Journal. 86:1097-1102.
- Constanza G. S. y Delgado, L.C. (2009). Amaranto (*Amaranthus sp.*), un genero con especies de usos medicinales y como colorante natural. Posibilidades de cultivo en la provincia de Tucumán. Argentina. Facultad de Agronomía y Zootecnia, UNT.
- Cordero de los Santos, M. Y., Osuna-Castro, J. A., Borondanenko, A. y Paredes López, O. (2005). Physicochemical and functional characterization of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) protein isolates obtained by isoelectric precipitation and micellisation. Food Science and Technology International . 11(4):269-280.
- Del Valle, F., Escobedo, M., Sánchez-Marroquín, A., Bourges, H., Bock, M. y Biemer, P. (1993). Chemical and nutritional evaluation of two amaranth (*Amaranthus cruentus*)-based infant formulas. Plant Foods for Human Nutrition. 43:145-156.
- Early, K.D. (1986). Cultivo y usos del *Amaranthus* (kiwicha) en dos centros de domesticación: México y Perú. En: V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno, 0- 14 marzo. PISA, IID-CANADA. Puno, Perú.
- Elbehri, A., Putman D.H. y Schmitt M. (1993). Nitrogen fertilizer and effects on yield and nitrogen efficiency of grain amaranth. Agronomy Journal. 85 (1): 120-128.
- Espitia, R. E. (1991). Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en alegría. Tesis de Posgrado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, pp. 1-14.

- Estudillo, N. A. (1992). Producción, transformación y comercialización del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) en el estado de Morelos. Tesis de posgrado. Departamento de Economía Agrícola, Universidad Autónoma de Chapingo.
- FAO/OMS/UNU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie de Informes técnicos N° 724.
- FAO. (1990). Guía para el manejo de plagas en cultivos andinos subexplotados. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Galindo, E. A. (2001). El amaranto: Una opción viable de alimento y cultivo. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de ciencias biológicas y agropecuarias.  
[http://www.cucba.udg.mx/sitiosinteres/coaxican/plts\\_mex/amaranto/amaranto.htm](http://www.cucba.udg.mx/sitiosinteres/coaxican/plts_mex/amaranto/amaranto.htm)
- Garmendia, A. (1985). Enfermedades del amaranto. Programa de Investigación del Amaranto. Informe. 83-2. Cusco, Perú.
- Gómez, L. F., Suárez, R. G. y Trinidad, S. A. (1990). El amaranto: *Amaranthus spp* : Su cultivo y aprovechamiento. Colegio de postgraduados. Montecillo. México.
- González, M. (1997). Fichas. Unidades didácticas. Primer ciclo de la ESO. Pila-Teleña. Madrid.
- Granados, H., Maya, S. y Carmona, A. (1991). Estudios sobre el valor nutritivo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* Tipo Azteca) en la rata albina (*Rattus norvegicus albinus*). I. Crecimiento comparativo de purina sola y combinada con amaranto. Primer Congreso Internacional del Amaranto, Oaxtepec, Morelos, México.
- Granados, H., Maya, S. y Carmona, A. (1991). Estudios sobre el valor nutritivo del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* Tipo Azteca) en la rata albina (*Rattus norvegicus albinus*). II. Reproducción comparativa de purina sola y mezclada con amaranto. Primer Congreso Internacional del Amaranto, Oaxtepec, Morelos, México.
- Guzmán-Maldonado, S. H. y Paredes-López O. (1999). Biotechnology for the improvement of nutritional quality of food crop plants. En: Paredes-López, O. (ed). Molecular biotechnology for plant food production. CRC. Press, Boca Ratón. pp: 553-620.

- He H, Cai, P.Y., Sun, M. y Corke, H. (2002). Extraction and purification of squalene from *Amaranthus* grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 368-372.
- Hernández, G. R. y Herrerías G. G. (1998). Amaranto: historia y promesa. En: Tehuacán: Horizonte del tiempo Vol. I. México. 529 pp
- Irving, D.W., Betschart A.A. y Saunders R.M. (1981). Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. *Journal Food Science*. 46: 1170-1173.
- Jaik, A.D. y Tena, F.J. (1986). Optimización del proceso de tostado de la semilla de alegría (*Amaranthus hypochondriacus*) y diseño de un prototipo de tostadora. p. 397-405. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México.
- Kauffman, C.S. y L.E. Weber. (1990). Grain amaranth. En: J. Janick y J.E. Simon (eds.). *Advances in New Crops*. Timber Press. Portland, Or. pp. 127-139.
- Kinsella, J. E., y Phillips, L. (1989). Structure-function correlations in food proteins, film and foaming behavior. In J. E. Kinsella, & W. Soucie (Eds.), *Food proteins* (pp. 57–77). Champaign: The American Oil Chemistry Society.
- Konishi, Y., Arnao, I. y Calixto M.R. (2006). Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencial. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 72 (1) Lima ene. /mar.
- Lawrence J.C. y Nielsen S.S. (2001). Partial isolation and characterization of a cysteine proteinase inhibitor from lima bean (*Phaseolus lunatus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 49: 1020–1025.
- Lehman, J.W. (1996). Case history of grain amaranth as an alternative crop. *Cereal Foods World*. 41: 369-441
- Lehninger, A. L. (1981). *Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular*. 2da edición. Ediciones Omega. España. p 1117.
- Leung, W.T. y Flores, M. (1961). *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina*. Instituto Nacional para Artritis y Enfermedades Metabólicas, Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. Guatemala. p 132.

- Li, R.P., Guo, M.L. Zhang, G., Xu, X.F. and Li, Q. (2006). Neuroprotection of nicotiflorin in permanent focal cerebral ischemia and in neuronal cultures. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 29, pp 1868-1872
- Lorenz, K. y F. Collins F. (1981). *Amarantus hypocondriacus* -Characteristics of the starch and baking potential of the flour. *Starch/Stärke* 33:149-153
- Lyon, C.K. y Becker R. (1987). Extraction and refining of oil from amaranth seed. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Soc. 64: 233
- Masoni, A. y L. Ercoli. (1994). Influencia de la época de cosecha sobre el rendimiento de concentrado de proteína foliar de amaranto. *El amaranto y su potencial*. 1-2: 17-23.
- Madeleine, P. (2009). El amaranto – pequeñas semillas con fuerzas colosales. Proyecto El Pan Alegre. Academia Nacional de Ciencias de EEUU.
- Marrufo, O. J. (1990). Fertilización y densidad de población del amaranto (*Amaranthus cruentus*). Tesis de Licenciatura. Unidad Regional Universitaria de zonas áridas, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Medina-Godoy S, Valdez-Ortiz A, Valverde ME, Paredes-López O. (2006). Endoplasmic reticulum-retention C-terminal sequence enhances production of an 11S seed globulin from *Amaranthus hypochondriacus* in *Pichia pastoris*. *Journal of Biotechnology*. Oct; 1(10):1085-92.
- Monteros, J.C., Nieto C., Caicedo C., Rivera M. y Vimos C. (1994). INIAP-Alegría, Primera variedad mejorada de amaranto para la sierra Ecuatoriana. INIAP. Boletín Divulgativo N°245. Ecuador.
- Morales, R. M., Ramírez J.E., Rodríguez T.H., Aldape F. y J., B. (1991). Estudio del comportamiento de 8 genotipos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L. y *Amaranthus cruentus* L.) en dos fechas de siembra, ciclo temprano 1988. En Marín Nuevo León. Resúmenes del Primer Congreso Internacional del Amaranto. Oaxtepec, Morelos, México. p 35.
- Mujica, A.S., Berti M.D., Izquierdo J. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. Escuela de Post-grado. Maestría Agricultura Andina, Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.

- Muñoz, M. (1996). Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en México. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, México, INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Muñoz, F.G., Gaytán, R.J., Lugo, A.M., Martínez, R.J. y Flores, J.E. (2005). Fabricación de una máquina para reventar granos de amaranto. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 14 (4).
- Myers, D. J., y Fox, S. R. (1994). Alkali wet-milling characteristics of pearled and unpearled amaranth seed. Cereal Chemistry. 71: 96-99.
- Nieto, C. (1990). El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea N°52. Quito, Ecuador.
- Ortiz, N. V., Ríos B. (1992). Utilización del grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L*) en la alimentación del pollo de engorda de iniciación. Tesis de Licenciatura. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Pant, K.C. (1985). Effect of heat processing (popping) on protein nutritional quality of grain amaranth. Nutrition Reports International 32:1089-1098.
- Paredes-López, O. (1994). Amaranth-Biology Chemistry and Technology. Boca Raton. FL, USA: CRC Press LLC.
- Paredes-López, O., Barba de la Rosa, A.P., Hernández-López, D. y Carabez-Trejo, A. (1990). Amaranth: características alimentarias y aprovechamiento industrial. Laboratorio de biotecnología de alimentos, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Irapuato, Gto., México.
- Pedersen, B., Hallgreen, L., Hansen, I., y Eggum, B. (1987). The nutritive value of amaranth grain. Plant Foods for Human Nutrition. 36: 325–334.
- Plucknett, D.L., Smith, N, J.H., Williams, J.T.; Murthi-Anishetty, N. (1987). Gene banks and the world's food. Princenton University Press.
- Radosavljevic, M., Jane, J. y Johnson L.A. (1998). Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. Cereal Chemistry. 75(2):212-216.

- Ramírez, A. C. (1994). Parámetros de estabilidad en rendimiento y otros caracteres agronómicos en amaranto (*Amaranthus* spp). Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Ramírez, M. B. (2007). Los procesos socioculturales de los productores de Tulyehualco, D.F. y la tecnología agrícola tradicional del amaranto, en la perspectiva de la sustentabilidad. Tesis de Maestría. Departamento de Sociología Rural, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Rayas-Duarte, P., Mock, C.M., y Satterle, L.D. (1996). Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours. *Cereal Chemistry*. 73(3):381-387
- Reyna, T.T. (1988). Investigaciones recientes sobre amaranto. Instituto de Geografía. México.
- Rodale Press, Inc. (1980). Proceedings of the Second Amaranth Conference. Emmaus, PA 18049.
- Ruales, J., Valencia, S. y Nair, B. (1993). Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour (*chenopodium quinoa*, Willd.) *Starch/Stärke*-45:13-19
- Ruíz, G. A. (1990). Dosis óptima de fertilización y densidad de población para amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en Huazulco, Morelos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Salazar, C. L. y López E. J. (1989). Condiciones de humedad de secado, acondicionamiento y temperatura para el reventado de semillas de *Amaranthus cruentus*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Industrias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Sánchez-Marroquín, A., Pérez G. J., Briones J. F. y Kuri, J. (1990) Potencialidad de la hoja de amaranto en la alimentación. Proyecto INIA-NAS sobre Amaranto. Industrias CONASUPO-ICONSA. En: El amaranto: *Amaranthus spp*: Su cultivo y aprovechamiento. Editores: Gómez, L. F., Suárez, R. G. y Trinidad, S. A.
- Sánchez-Marroquín, A. y Maya S. (1990) a. Enriquecimiento del maíz con harina de amaranto en la elaboración de tortilla. Proyecto INIA (México)-NAS (E.U.A.). En: El amaranto: *Amaranthus spp*: Su cultivo y aprovechamiento. Editores: Gómez, L. F., Suárez, R. G. y Trinidad, S. A.

- Sánchez-Marroquín, A. (1990) b. Perspectivas biotecnológicas del sistema amaranto. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de México y Academia Nacional de Ciencias, E.U.A. En: El amaranto: *Amaranthus spp* : Su cultivo y aprovechamiento. Editores: Gómez, L. F., Suárez, R. G. y Trinidad, S. A.
- Sánchez-Marroquín, A., Del-Valle, F., Escobedo, M., Avitia, R., Maya, S. y Vega, M. (1986). Evaluation of whole amaranth (*Amaranthus cruentus*) flour, its air-classified fractions, and blends of these with wheat and oats as possible components for infant formulas. *Journal Food Science*. 51(5):1231-1234.
- Sánchez- Marroquín, A., Domingo, M.V., Torres, J.A. y Maya, S. (1981). Fortificación de semolina con harina integral de amaranto. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México.
- Sanchez-Marroquín, A. (1981). Perspectivas biotecnológicas del sistema amaranto. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México.
- Sánchez-Marroquín, A. (1980). Potencialidad Agroindustrial del amaranto. Ed. Centro de Estudios Económicos de Tercer Mundo. México, D.F.
- Sánchez, M.A., J. Pérez, J. Briones y J. Kuri. (1986). Potencialidad de la hoja de amaranto. p. 307-314. En: Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México.
- Santin, H.C. y Lazcano S.M. (1986). Pasado, presente y futuro del amaranto. FAO. Cuadernos de nutrición. 9 (1): 17-32
- Saunders, R.M. y R. Becker. (1984). *Amaranthus*: A potential food and feed resource. En: *Advanced Sciences and Technologies*. Vol.VI. AACC. Pomeranz (ed.).
- Schwenke K.D. (2001). Legume protein structure and interaction: reflections about the functional potential of legume proteins. *Nahrung/Food* 45(6): 377–381.
- SDR (2008), Secretaría de Desarrollo Rural. Cultivos de Puebla.
- Segura-Nieto, M., Vázquez-Sánchez, N., Rubio-Velázquez, H., Olguín- Martínez, L.E., Rodríguez-Nester, C.E., Herrera-Estrella, L., (1992). Characterization of amaranth (*Amaranthus Hypochondriacus L.*) seed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40, 1553–1558.
- Sepúlveda, H. (1989). Quinoa y amaranto: dos pseudocereales con gran perspectiva. *El Campesino* 120 (10): 970.

- Silva, S. C. (2007). Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosí. Tesis de Doctorado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Posgrado en Biología Molecular. IPICYT
- Singhal, R.S. y Kulkarni, P.R. (1988). Review: amaranth and under utilized resource. *International Journal of Food Science and Technology*. 23: 125-139
- Sugimoto, Y., Yamada, K., y Sakamoto, S. (1981). Some properties of normal and waxy-type starches of *Amaranthus hypochondriacus* L. *Starch* 33: 112.
- Sumar, K.L. (1993). La kiwicha y su cultivo. Centro Bartolomé de las Casas. Cusco, Perú.
- Tamer H. G., Mesallam A. S., Damir A.A., Shekib A. L. and Linssen P. J. (2006). Characterization of amaranth seed oils. *Food Science and Technology. Food Sciences. Journal of Food Lipids*. 14:323–334
- Tapia-Blácido., A.N. Mauri, F.C., Menegalli, P.J., Sobral y M.C. Añon. (2007) Contribution of the protein and lipid fractions to the physical, thermal and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. *Journal of Food Science*. 72: 293–300.
- Teutónico, R. y Knorr, D. (1985), Amaranth composition, properties and applications of a rediscovered Food Crop. *Food Technology. Institute of Food Technology*. 39 (4): 49-61
- Tosi, E. A., Re`, E., Lucero, H., and Masciarelli, R. (2001). Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling. *Food Chemistry*, 73, 441–443
- Transue, D.K., D.J. Fairbanks, L.R. Robinson y W.R. Andersen. (1994). Plant genetic resources. *Crop Science*. 34: 1385-1389.
- Watt, B.T. and Merrill, A.L. (1963). Compositions foods USDA. *Agricultura Handbook*. No. 8, Washington C.C.
- Yáñez, G.A., Messinger, J., Walker, C. y Rupnow, J. (1986). Amaranth hypochondriacus: Starch isolation an Partial Characterization. *Cereal Chemistry*. 63 (3) 273-276

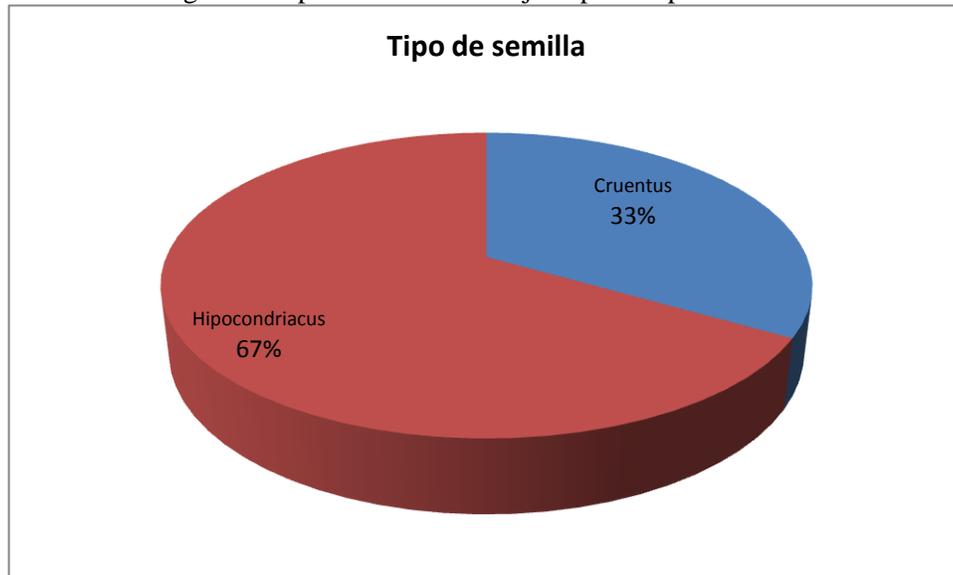
- Zapotoczny P., Markowski M., Majewska K., Ratajski A., y Konopko H., (2006). Effect of temperature on the physical, functional and mechanical characteristics of hot – air – puffed amaranth seeds. Journal Food Engineering. 76, 469-476.
- Zhao, J. y Whistler L. (1994). Isolation and characterization of starch from amaranth flour. Cereal Chemistry. 71(4):392-393.

#### Páginas electrónicas consultadas

- Guía del emprendedor (2008). <http://www.guiadelemprendedor.com.ar/Amaranto.htm>  
Fecha de última consulta: 06 de Septiembre de 2010
- AMA Asociación Mexicana de Amaranto. (2003).  
<http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm>  
Fecha de última consulta: 10 de Agosto de 2010
- Holistica2000 (2000). <http://www.holistica2000.com.ar/Amaranto.html>  
Fecha de última consulta: 04 de Octubre de 2010
- San Miguel de Proyectos Agropecuarios S.P.R. de R.S. (2008)  
[http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15:caracteristicas-nutricionales-del-amaranto&catid=13:el-amaranto&Itemid=31](http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=15:caracteristicas-nutricionales-del-amaranto&catid=13:el-amaranto&Itemid=31)  
Fecha de última consulta: 29 de julio de 2010

## ANEXO I

Figura 1. Tipo de semilla manejada por los productores.



En las zonas aledañas al Distrito Federal, como se puede ver en la Figura 1, el 67 % de los agricultores siembran la variedad de *Amaranthus Hypochondriacus*, y en menor cantidad se cultiva el *Amaranthus Cruentus*, estas, son las dos variedades más utilizadas principalmente, debido a que cada productor reutiliza su propia semilla (Figura 2), destinando cierto porcentaje de la producción a almacenarlo, para que en la siguiente temporada este garantizado el ciclo de siembra.

Figura 2. Obtención de semillas para siembra.

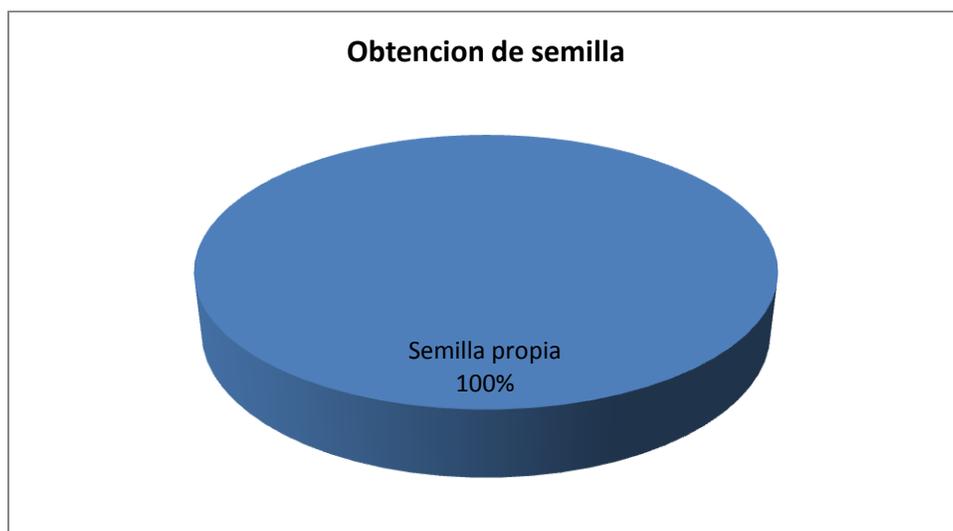
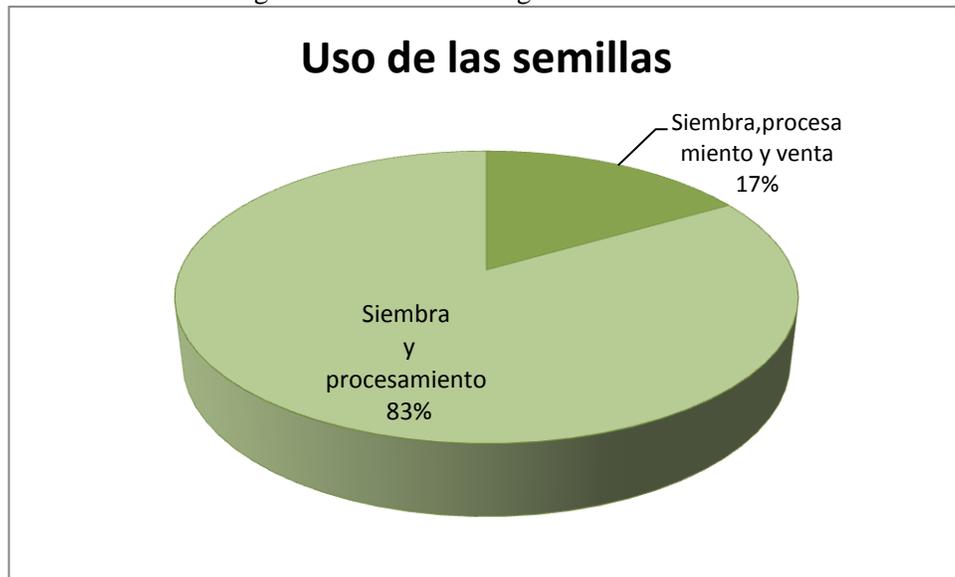
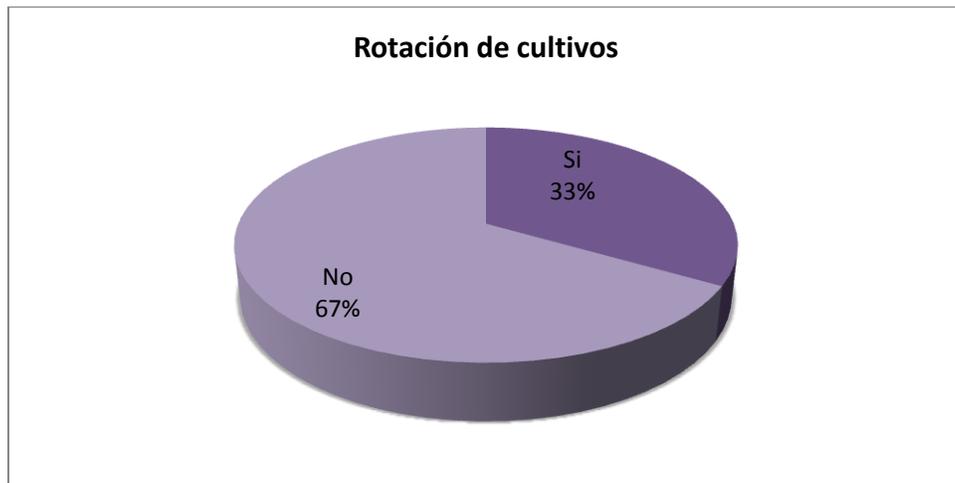


Figura 3. Destino de los granos cosechados.



En cuanto al uso que se le da a los granos, cabe destacar que la mayoría de los productores (83%)(Figura 3), se dedican a la siembra y procesamiento del grano en diferentes productos, tales como, alegría, barras de amaranto reventado, atoles, jarabes, pastas, etc., esperando las fructificaciones económicas invertidas durante todo el proceso. Mientras que el 17% de los productores, además de sembrar y procesar, ponen el amaranto para venta a granel, aunque en este sentido, hacen falta convenios comerciales bajo el esquema de agricultura por contrato, lo cual permitiría asegurar la venta del producto a un precio base, de ahí la importancia de apoyar con recursos financieros a los productores de amaranto de todo el país.

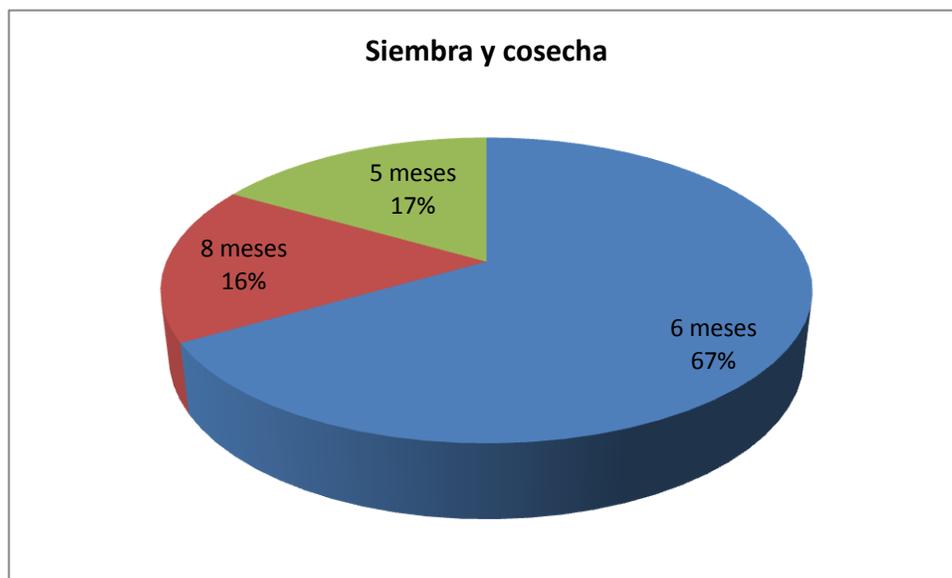
Figura 4. Uso y control de rotación de cultivos.



En la Figura 4 se puede observar que la mayoría de los productores no cuentan con un control de rotación de cultivos, lo que puede llegar a afectar los rendimientos de los cultivos, en la conservación y mejoramiento de los contenidos de materia orgánica del suelo y principalmente en la mejora de la fertilidad del suelo, provocando un mal balance de los nutrientes disponibles para el cultivo.

Esta falta de rotación de cultivos se debe primordialmente, a la falta de recursos en cuanto a mano de obra y tecnología, y sobre todo al riesgo que implica asociarse en la comercialización de otro grano, del cual seguramente existe mayor demanda, y si en un grano en pleno resurgimiento como el amaranto es difícil su producción, la incursión en otro grano tendría mayores complicaciones.

Figura 5. Fechas de siembra y cosecha de amaranto.



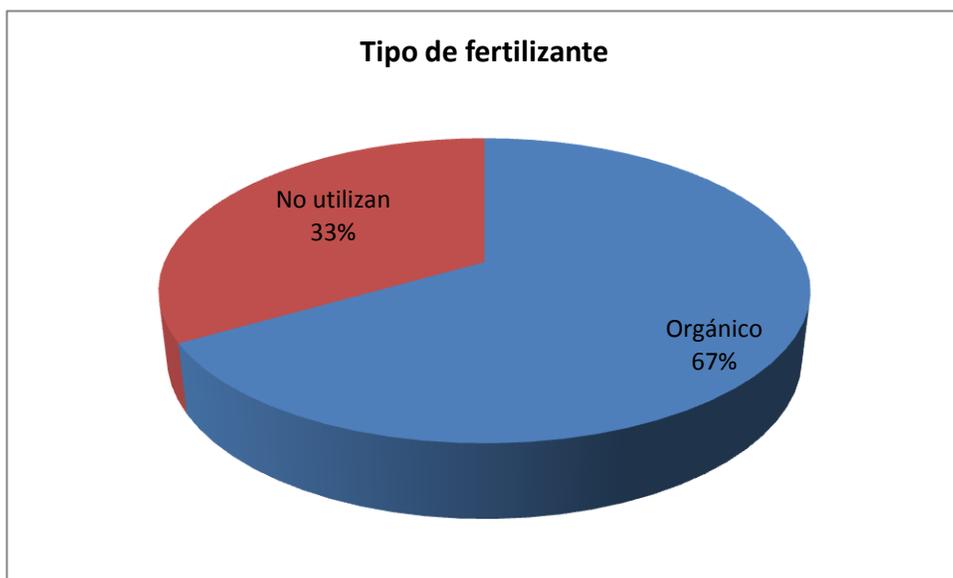
En las zonas aledañas al Distrito Federal, la siembra se realiza a principios de año, entre los meses de abril y junio, a partir de esa fecha, los productores varían en cuanto al tiempo para realizar la cosecha. Como se puede ver en la Figura 5, el período para efectuar la cosecha varía, siendo el de 6 meses el más común entre los productores, pero en general, se puede decir que se realiza a fines de año. Esto depende, en gran parte, del criterio de cada productor, tomando en cuenta características como: las plantas presenten un color pardo amarillento, además de tener cierta abertura en la base de las panojas y los granos se tornan de aspecto harinoso.

Figura 6. Ciclo de siembra en el cultivo de amaranto.



El amaranto es resistente a sequías, por lo que con prácticas adecuadas de cultivo se puede cosechar en tierras de temporal, como lo son la mayoría de las tierras agrícolas disponibles en el país, y como lo aplica el 33% de los productores (Figura 6). Sin embargo, esto representa un alto riesgo para el cultivo, debido a los cambios climáticos que se presentan en la actualidad, por lo que la mayoría, acude también al riego y de esta manera disminuir las posibilidades de perder la cosecha a causa de escasas de lluvia.

Figura 7. Tipo de fertilizantes utilizados.



Considerando la importancia de evaluar la incorporación de los fertilizantes orgánicos sobre el rendimiento del amaranto y las condiciones físicas y químicas del suelo, en los últimos años existe una propuesta a los requerimientos de productos sanos y sin residualidad tóxica en el empleo de fertilizantes orgánicos que permita además prácticas de cultivo y conservación de los recursos del suelo. Por tal motivo, cada vez, se aplica mayormente (67%) el uso de fertilizantes naturales como se puede ver en el Figura 7, por lo que, el gran beneficio es que el amaranto queda absolutamente libres de residuos químicos y los productores ahorrarían en gastos de fertilizantes químicos.

Figura 8. Costo por hectárea del cultivo de amaranto.



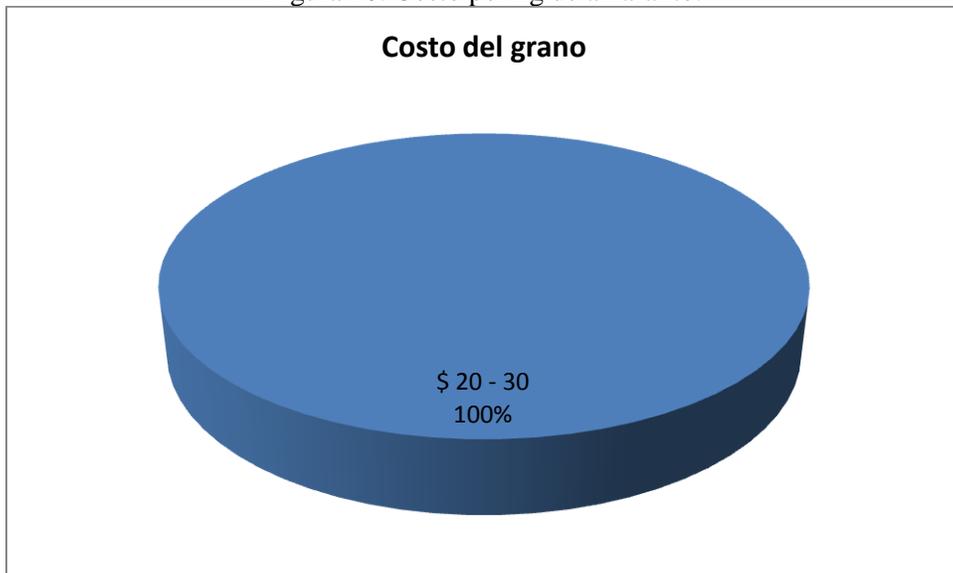
Cabe destacar la rentabilidad que tiene el amaranto (Figura 8), debido a que aporta un mayor ingreso a los campesinos, ya que su precio es superior al de otros cereales y, por si fuera poco, tiene un mercado más sostenido, ya que la demanda rebasa con mucho a la oferta actual. Aunque actualmente, el amaranto no puede competir en ganancias con el maíz, los productores reciben ganancias aproximadas de \$ 7 000.

Figura 9. Rendimiento por hectárea aproximado.



El rendimiento económico del amaranto varía dependiendo los ciclos del cultivo, en zonas de temporal y de riego es mayor, por ser un cultivo de ciclo corto, resistente a las sequías y por su alto valor nutricional. El buen manejo del terreno y de los sistemas de cultivo, son determinantes que permiten la obtención de 1.0 a 1.5 ton/ha en el primer año de conocer el cultivo. En base con experiencias de la investigación de campo, este rendimiento puede elevarse en años subsecuentes al ir mejorando las técnicas específicas para el cultivo, como se puede observar en el Figura 9, donde la rentabilidad supera las 3 toneladas.

Figura 10. Costo por kg de amaranto.



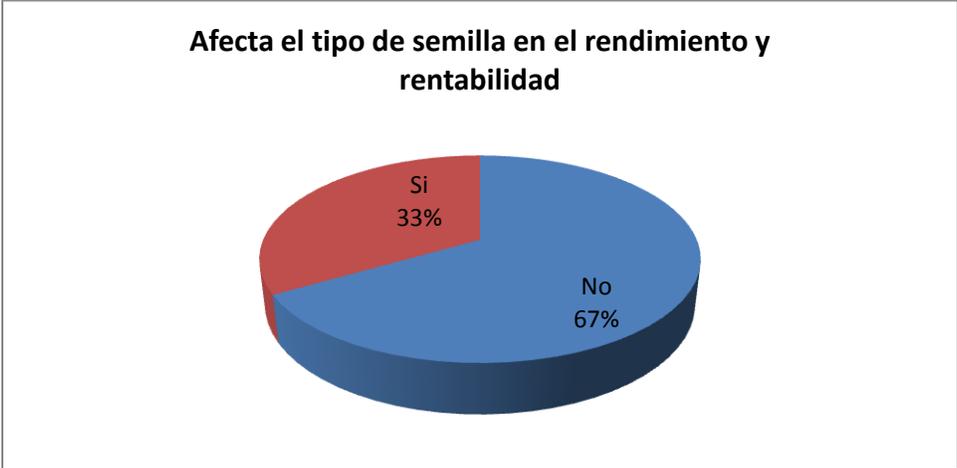
Por sus cualidades nutricionales, agronómicas y económicas el amaranto conserva su valor en el mercado, de acuerdo a los productores, el precio oscila entre \$20 y \$30 por kilogramo (Figura 10).

Figura 11. Que se necesitaría para hacerlo rentable



Si bien, los estudios sobre amaranto en todas las ramas, han ido avanzando actualmente, los productores opinan que aún se podría hacer más rentable el cultivo de amaranto, mencionan que todavía se puede mejorar en los métodos de siembra y producción del grano, así como tener un mayor conocimiento en cuanto a las propiedades nutrimentales del grano y las formas de cultivo. Por otra parte, destacan que se debe informar al consumidor para que tenga una mayor comprensión acerca de los beneficios que traería el amaranto en su alimentación básica.

Figura 12. Afecta el tipo de semilla empleada en el rendimiento y rentabilidad final.



La mayoría (67%) de los productores piensan que el rendimiento y rentabilidad final del amaranto no se ven afectadas por el tipo de semilla empleada, mencionan que se debe más al clima, control de malezas y/o alguna enfermedad que se pudiera presentar. Sin embargo el 33% opinan que en algunas ocasiones si se han visto afectados al utilizar otro tipo de semilla, pero no es muy significativa la merma en comparación con los problemas mencionados anteriormente.

Figura 13. Le interesaría algún apoyo de parte de Centros de Investigación



Existe 100% el interés de los productores, acerca de apoyos de los Centros de Investigación, mencionan que les hacen falta refuerzos en cuanto, a investigaciones en el mejoramiento de técnicas de cultivo, además en el desarrollo de nuevos productos de acuerdo a sus propiedades nutrimentales, y así tener más competencia en el mercado.

## ANEXO II

### Cuestionario

I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez

- ¿Ha realizado alguna investigación o trabajo sobre amaranto?

Si

- ¿Qué tipo de investigación: experimental o teórica?

Experimental (Desarrollo tecnológico)

- ¿Estos trabajos en qué área los ubicaría?

Alimentaria

- Podría explicarnos brevemente en que consistió su trabajo.

Existió un concurso a nivel internacional por parte de los Estados Unidos y de ahí se arranca el proyecto, de ese concurso diez países participaron en la investigación, uno de ellos fue México, entonces en el, participamos dos personas especialmente el Dr. Sánchez Marroquín y un servidor Saturnino Maya, y con el apoyo de Chapingo, donde ellos se encargaron de las líneas de las diferentes semillas que mandaban y nosotros de esas líneas que tenían íbamos seleccionando las muestras más adecuadas, revisábamos las áreas de producción y las principales eran Puebla y Morelos en ese entonces Tulyehualco, se ganó ese concurso y empezamos a desarrollar, a nosotros nos toco la parte de desarrollo tecnológico (elaboración de nuevos productos de amaranto), eso fue entre 1980-1982, y en convenio con la Academia de Ciencias de Estados Unidos, se permitió contactar con otros países como Perú, Italia, Nepal, Bolivia, Guatemala, Venezuela, Estados Unidos, principalmente, y entonces todos ellos desarrollaron también en base a eso en semillas de amaranto, ese fue nuestro inicio del proyecto y entonces todo ese material que fuimos elaborando se presentaba en EU ,cada vez que nos pedían resultados. Al final, este proyecto duró 6 años aproximadamente, en este trabajo se obtuvieron aproximadamente 20 artículos a nivel de publicación en el Journal Science Food, Memorias de seminarios en México con ejidatarios y la gente de Chapingo, posteriormente vinieron otros investigadores a profundizar en la



## Cuestionario

Dr. Luis Arturo Bello Pérez

- ¿Ha realizado alguna investigación o trabajo sobre amaranto?

Si

- ¿Qué tipo de investigación: experimental o teórica?

Experimental

- ¿Estos trabajos en qué área los ubicaría? Alimentaria, Agronómica o Tecnológica

Alimentaria

- Podría explicarnos brevemente en que consistió su trabajo.

Realizar caracterización del almidón de amaranto, así como los componentes de este almidón, usando técnicas microscópicas, moleculares, fisicoquímicas y estructurales.

- ¿Actualmente se encuentra en algún proyecto de investigación acerca del amaranto?

No

- Sobre qué campo de investigación está trabajando:

- Si no está trabajando actualmente con amaranto piensa hacerlo en un futuro cercano

Si            X            No

¿Por qué y/o sobre qué?

En el uso de la harina de amaranto para elaboración de películas biodegradables

- ¿Piensa usted que el amaranto está suficientemente estudiado? ¿Por qué?

Hay diversos estudios, pero siempre hay cosas que se siguen investigando

- Podría decirnos las áreas que piensa usted debería realizarse investigación sobre amaranto y ¿por qué?

En el uso de nuevas variedades de amaranto para elaboración de películas biodegradables así como en la caracterización de su almidón

- Piensa usted que el amaranto tiene potencial para ayudar en el combate contra la malnutrición en México. ¿Por qué?

Creo que si, debido a su alto contenido de proteína, pero también el almidón presente en el amaranto tiene características especiales que pueden ser aprovechadas desde el punto de vista nutricional y tecnológico.





- Piensa usted que el amaranto tiene potencial para ayudar en el combate contra la malnutrición en México. ¿Por qué?

Si, en San Luis Potosí, en los Servicios de Salud se han llevado a cabo estudios en niños de bajo peso, al suministrar amaranto en su dieta han observado el incremento en peso de estos niños. Existen varios reportes indicando el potencial nutritivo y nutraceútico de semillas y hojas de amaranto.





## Cuestionario

Dra. Martha Lydia Macías Rubalcava

- ¿Ha realizado alguna investigación o trabajo sobre amaranto?

Si

- ¿Qué tipo de investigación: experimental o teórica?

Trabajo experimental

- ¿Estos trabajos en qué área los ubicaría? Alimentaria, Agronómica o Tecnológica

Los estudios realizados con amaranto son trabajos experimentales en donde seleccionamos entre otras a esta especie para evaluar el efecto fitotóxico de diversos extractos orgánicos y de metabolitos secundarios aislados de plantas y microorganismos.

- Podría explicarnos brevemente en que consistió su trabajo.

Determinamos cuantitativamente el potencial fitotóxico de los extractos orgánicos derivados de plantas y microorganismos y de los compuestos puros aislados de los mismos, mediante la evaluación del efecto sobre la respiración, la germinación, el crecimiento de la raíz y la biomasa de *Amaranthus hypochondriacus* (Amaranthaceae). Los bioensayos se realizan en cajas de Petri empleando el método de dilución en agar. El efecto fitotóxico se registra después de 24 hrs.

- ¿Actualmente se encuentra en algún proyecto de investigación acerca del amaranto?

Estudiando propiamente al amaranto no. Sin embargo, en todos nuestros proyectos de investigación incluimos a esta especie como una planta modelo para seleccionar candidatos idóneos para el estudio de metabolitos secundarios con potencial para el posible desarrollo de nuevos agentes de herbicidas biodegradables y con menor impacto ecológico.

- Sobre qué campo de investigación está trabajando:

Estudio de los aspectos químicos involucrados en las complejas relaciones alelopáticas planta-planta y planta-microorganismo, y que está enfocada básicamente sobre:

1. Detección, aislamiento y caracterización de agentes aleloquímicos de plantas y hongos.
2. Determinación del potencial alelopático de los aleloquímicos, mediante la evaluación de sus efectos sobre la germinación y el crecimiento de diferentes especies vegetales y sobre el crecimiento de hongos endófitos y fitopatógenos.

3. Investigación del posible papel ecológico de los aleloquímicos aislados de hongos y plantas.
4. Colaborar en el posible desarrollo de nuevos agentes de plaguicidas biodegradables y con menor impacto ecológico.
5. Estudio de algunos posibles mecanismos de acción fisiológica de los aleloquímicos, principalmente mediante la determinación de su efecto sobre la respiración durante el proceso de germinación, en plántulas, mitocondrias aisladas y en la fotosíntesis.
6. Estudio de las relaciones estructura actividad de los aleloquímicos.

– Si no está trabajando actualmente con amaranto piensa hacerlo en un futuro cercano

Si  No

¿Por qué y/o sobre qué?

– ¿Piensa usted que el amaranto está suficientemente estudiado? ¿Por qué?

Si, el amaranto se ha estudiado desde diversos puntos de vista, principalmente por sus propiedades nutritivas, ya que es una fuente muy importante de proteínas, minerales y vitaminas. Asimismo, existen amplios estudios sobre su uso en la medicina tradicional. El amaranto ha sido utilizado desde tiempos prehispánicos. Es recomendado para prevenir y ayudar a curar afecciones como la osteoporosis, la diabetes mellitus, la obesidad, la hipertensión arterial, el estreñimiento, la insuficiencia renal crónica, la insuficiencia hepática, entre otras.

– Podría decirnos las áreas que piensa usted debería realizarse investigación sobre amaranto y ¿por qué?

– Piensa usted que el amaranto tiene potencial para ayudar en el combate contra la malnutrición en México. ¿Por qué?

Si, el amaranto es el producto de origen vegetal muy completo, es una de las fuentes más importante de proteínas, minerales y vitaminas naturales. La cantidad de proteínas en la semilla de amaranto es mayor que la de la mayoría de los cereales. Contiene más proteínas que el maíz, el arroz y el trigo. El amaranto se puede utilizar integralmente como un recurso para proporcionar a la población los requerimientos proteicos y calóricos, los cuales en la actualidad se obtiene principalmente del trigo, arroz, sorgo, papa, fríjol, soya, azúcar, etc.



En relación al área agronómica, nutricional, como fuente de metabolitos secundarios de importancia industrial y como fuente de genes de tolerancia a la sequía y al ataque de insectos y patógenos.

- Piensa usted que el amaranto tiene potencial para ayudar en el combate contra la malnutrición en México. ¿Por qué?

Si, ya se ha documentado la calidad nutricional de las proteínas de amaranto y la importancia de su consumo para complementar la dieta de los mexicanos, ya que aportaría los aminoácidos en los que son deficientes el maíz y el frijol.