



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DESARROLLO DE UNA BOTANA
COMPLEMENTADA CON AMARANTO
(AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS)
PARA AUMENTAR SU CALIDAD NUTRIMENTAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JORGE IVAN ESCOBEDO GARCIA

ASESOR: Dr. ENRIQUE MARTINEZ MANRIQUE

COASESORA: I.A. VERONICA JIMENEZ VERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **TESIS**

Desarrollo de una botana complementada con amaranto (amaranthus hypochondriacus) para aumentar su calidad nutrimental

Que presenta el pasante: **Jorge Iván Escobedo García**

Con número de cuenta: **40600732-2** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de septiembre de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en I. Fernando Beristain	
VOCAL	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er SUPLENTE	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
2do SUPLENTE	IA. Alberto Solís Díaz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).

HHA/pm

AGRADECIMIENTOS

A DIOS y a la **Virgencita** a quienes los he buscado más de un solo momento y siempre han estado para mí, mostrándome que ningún camino es fácil pero cada prueba tiene un propósito. Gracias por darme las herramientas para alcanzar este logro.

A mis padres **Leticia García** y **Modesto Escobedo** quien a su modo y de una manera tan peculiar siempre me han dado la mano, siempre ha buscado mi bienestar y a pesar de mi mal genio siempre me roban una sonrisa. Gracias por escucharme y tener para mí, siempre un consejo certero. Gracias por ser una figura tan ejemplar, llenos de logros. Por mostrarme que el estudio es una herramienta clave para poder superarnos. Y que todos los días son una oportunidad para aprender algo nuevo. Gracias por que a pesar de mis reproches nunca han desistido en buscar lo mejor para mí. Espero algún día ser motivo de su orgullo. Los quiero!!

A mis hermanos **Guadalupe** y **Fernando** gracias por aguantar mis enojos, mi estrés, mis golpes jaja sobre todo gracias por sus consejos y gran apoyo. Ojala que les sirva de buen ejemplo mi vida, saben que siempre estaré para ustedes con gusto. Recuerden que la distancia entre un sueño y un hecho, son las ganas de querer lograrlo.

Con un cariño especial te agradezco flaquita, eres una persona increíble de quien tuve la dicha de conocer en la universidad, con quien he compartido momentos de estrés, trabajo, pasión por la carrera, de tristezas, de logros y mil cosas más. Gracias **Mariana** por estar en mi vida, por los buenos deseos,

aprecio rotundamente el apoyo que me has brindado, de ti he aprendido bastante y sé que aún nos falta mucho por “conocer y compartir”. Que Dios siga llenando de bendiciones tu vida y la de tu familia. Te quiero mucho!!!

Y claro cómo olvidarme de los compañeros y amigos que hicieron que parte de mi trayectoria escolar fuera más fácil y divertida. Gracias **Karen** por que la distancia nunca ha sido suficiente para romper el lazo de amistad.

A **Gabriel** un gran amigo a quien admiro bastante por su fortaleza y siempre me ha apoyado incondicionalmente. También les agradezco aquellos amigos que me han motivado e impulsado de algún modo a concluir con mis metas, a **Linda, Héctor, Pepe, Nancy, Oscar, Neto, Said, Yazmin**, con quienes compartí y sigo compartiendo momentos agradables y les deseo de corazón que su vida se llene de logros y bendiciones y que siempre se sientan orgullosos de ser egresados de una escuela tan valiosa como lo es la UNAM.

Agradezco a mis sinodales y a mi asesores de Tesis **Enrique Manrique y Verónica** por el apoyo, el tiempo dedicado, por compartir conmigo sus conocimientos y sus deseos de conseguir culminar con esta etapa de mi vida.

“Todavía no he llegado a mi meta, pero estoy más cerca que ayer”

INDICE

	PAG
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
ANTECEDENTES	
1.1. Maíz	
1.1.1. Antecedentes Históricos	10
1.1.2. Estructura del grano de Maíz	10
1.1.3. Composición Química	12
1.1.4 Usos del Maíz	13
1.2 Amaranto	
1.2.1 Antecedentes Históricos	14
1.2.2 Descripción de la planta y semilla	15
1.2.3 Producción y distribución	17
1.2.4 Nutrición y composición química	18
1.2.4.1 Proteínas	20
1.2.4.2 Carbohidratos	24
1.2.4.3 Lípidos	28
1.2.4.4 Fibra	30
1.2.4.5 Vitaminas y minerales	30
1.2.5 Usos	31
1.3 Botanas	
1.3.1 Textura	32
2. OBJETIVOS	36
3. METODOLOGÍA	
3.1 Materiales y métodos	37
3.2 Preparación de la muestra	37
3.3 Análisis Químico Proximal de la materia prima	37
3.3.1 Determinación de Humedad	37
3.3.2 Determinación de Extracto etéreo	38
3.3.3 Determinación de proteína	38

3.3.4 Determinación de cenizas	39
3.3.5 Determinación de fibra cruda	39
3.3.6 Determinación de carbohidratos	39
3.4 Elaboración de la botana	
3.4.1 Formulaciones	40
3.4.2 Procedimiento	40
3.5 Evaluación sensorial	40
3.6 Análisis Químico Proximal del producto	41
3.7 Evaluación de Textura	41
3.8 Evaluación de la calidad proteica	42
3.8.1 Cuantificación de triptófano	42
3.8.2 Perfil de aminoácidos	43
3.9 Método estadístico	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Análisis químico proximal de la materia prima	44
4.2 Elaboración de la botana	44
4.2.1 Formulaciones	44
4.3 Evaluación de textura	46
4.4 Evaluación sensorial	53
4.4.1 Prueba de preferencia	53
4.5 Composición química del producto terminado	54
4.6 Perfil de aminoácidos	57
4.7 Prueba de nivel de agrado	58
5. CONCLUSIONES	60
6. ANEXOS	62
7. BIBLIOGRAFIA	67

RESUMEN

El amaranto representa un fuerte potencial en la industria de alimentos por su alto contenido de proteína y balance adecuado de aminoácidos esenciales, además de otros componentes como minerales, fibra y ácidos grasos; el problema es que no se ha aprovechado para elaborar productos alimenticios a nivel industrial de alto consumo como las botanas. La mayoría de las botanas son elaboradas con maíz y aportan gran cantidad de calorías, debido al alto contenido de carbohidratos del grano, además de grasas ya que éstos productos son sometidos a procesos de freído. Por lo tanto, al ser consumidas con frecuencia provocan el incremento de peso en las personas. Tomando en cuenta lo anterior se planteó la elaboración de una botana de maíz reducida en grasa (horneada) con un mejor aporte nutrimental, complementándola con amaranto. Para llevar a cabo este trabajo primero se analizó la materia prima especialmente harina de amaranto para saber cuál es el incremento en la calidad nutrimental de las botanas; después se propusieron diferentes formulaciones amaranto-maíz con al menos 50% de harina de amaranto, con las cuales se elaboraron botanas tipo churrito y se seleccionó la mejor formulación con base en pruebas de textura y una prueba sensorial de preferencia; la formulación escogida fue evaluada para saber si aumentó su calidad nutrimental respecto a una botana tradicional elaborada con maíz, mediante su análisis químico y perfil de aminoácidos; por último, se evaluó si la botana escogida era aceptada por el consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados obtenidos indicaron que el amaranto podía complementar al maíz para mejorar su calidad nutrimental; también se determinó que la mejor formulación fue la que contenía 80% de harina de amaranto y 20% de harina nixtamalizada de maíz y que sí tuvo una mayor calidad nutrimental que las botanas elaboradas solo con maíz e incluso de algunas botanas comerciales que en sus formulaciones incluyen amaranto. Por último, se observó que la botana tipo churrito elaborada con amaranto tuvo un 75% de aceptación de parte del consumidor, indicando que puede ser aceptada por la población en general y de esta manera contribuir a combatir los problemas de obesidad que aquejan a la población de nuestro país.

INTRODUCCIÓN

Actualmente México presenta un problema a nivel mundial relacionado con los malos hábitos alimenticios, los cuales se ven reflejados en el 70 por ciento de los adultos mayores de 20 años, debido a que padecen obesidad o sobrepeso. Oficialmente ocupamos el primer lugar en obesidad infantil y el segundo en adulta (Méndez Blanco, 2010). Según el Instituto Mexicano del Seguro Social y la Confederación Nacional de Pediatría de México han reportado que desde hace diez años el problema se ha ido incrementando notoriamente, esto es debido al estilo de vida de la población, donde la comida rápida está desplazando a la tradicional, aunado a esto, el sedentarismo y la venta de comida chatarra en las escuelas a favorecido los problemas de obesidad (Rodríguez, 2010). Dentro de la comida chatarra, podemos encontrar algunas botanas que son definidas como una comida pequeña y ligera que debe cumplir con varias condiciones, tales como ser fáciles de manipular, estar listas para comerse, ser accesibles, ser de tamaño pequeño, consistir en raciones individuales y lo más importante deben satisfacer la sensación de apetito (Pérez *et al.*, 2006). La experiencia indica que el gusto de las botanas es por el sabor de sus grasas, los condimentos, sal, etcétera; cosa que no se logra en los productos bajos en grasas, por lo que es importante trabajar en este tema. Uno de los cereales utilizados comúnmente para ser procesados como botanas es el maíz; sin embargo existen otros granos que pueden aportar mayor calidad nutrimental, como el amaranto; que es una planta autóctona de América, domesticada, cultivada y utilizada desde hace más de 4000 años (Sauer, 1976). El amaranto está compuesto por un buen balance de aminoácidos esenciales, principalmente lisina, que ayuda al crecimiento ya que participa en el desarrollo muscular, absorción del calcio y en la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos, entre otros, además de su alto contenido de calcio, ácido fólico y vitamina C (Bressani, 1989; Singhal y Kulkarui, 1988; Bressani *et al*, 1992; Mújica *et al*, 1997; FAO, 1993.). Por lo tanto, en este proyecto se pretendió aprovechar la preferencia de la población hacia la comida chatarra, elaborando una botana de maíz complementándola con harina de amaranto, para mejorar el aporte nutrimental en la dieta, sin generar problemas de obesidad por su consumo diario. Para realizar este trabajo se analizaron químicamente las materias primas especialmente harina de amaranto, para saber cuál era el incremento en la calidad nutrimental de las botanas; después se

propusieron diferentes formulaciones que incluyeron harina de amaranto en 50% y el resto de harina de maíz nixtamalizada, con estas se elaboraron las botanas tipo churrito y se seleccionó la mejor formulación con base a una prueba de textura y sensorial de preferencia; la formulación escogida fue evaluada para saber si aumentó su calidad nutrimental respecto a una botana tradicional elaborada con maíz, mediante su análisis químico y perfil de aminoácidos; por último, se evaluó si la botana escogida era aceptada por el consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

1. ANTECEDENTES

1.1. Maíz

1.1.1. Antecedentes Históricos

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente “lo que sustenta la vida”. El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, donde se difundió al norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, es de unos 7000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz (FAO, 1993).

La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Mangelsdorf y Reeves (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año.

1.1.2. Estructura del grano de Maíz

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo más ancho, alargado y ondulado. Del tallo nacen dos o tres inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en espigas, en la axila de las hojas muy ceñidas. En cada mazorca se ven las filas de granos, cuyo número pueden variar de ocho a treinta. El tallo de la planta está rematado en el extremo por una gran panoja de pequeñas flores masculinas.

El grano de maíz se denomina en botánica carióspside o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla.

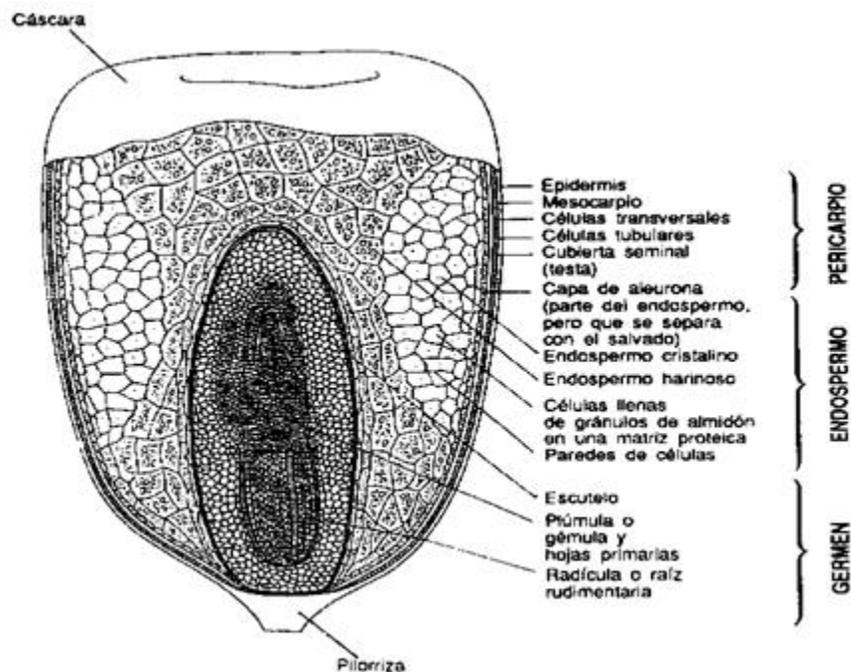


Figura 1. Estructura del grano de maíz

Fuente: FAO, 1993

En la figura 1 se muestran también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo). Wolf *et al.* (1952) y Wolf *et al.* (1969) han descrito adecuadamente la anatomía general y la estructura microscópica de estos elementos anatómicos.

La distribución ponderal de las distintas partes del grano se indica en la tabla 1. Al endospermo, la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83 por ciento del peso del grano, en tanto que el germen equivale por término medio al 11 por ciento y el pericarpio al 5 por ciento. El resto está constituido por la piloriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga.

Tabla 1. Distribución ponderal de las principales partes del grano de maíz

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: FAO, 1993

1.1.3. Composición Química

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie.

Las proteínas del maíz están compuestas por: Prolaminas 42.7% (zeína), albúminas 3.2%, globulina 1.5% y glutaminas 35.1%. Hablando de aminoácidos esenciales, tienen como limitante la lisina y triptófano (Watson *et al*, 1991). Por otro lado, la mayor parte de los aceites están contenidos en el germen, que tiene además relativamente un alto contenido proteico. En la tabla 2 se presenta la composición química promedio del maíz.

Tabla 2. Composición química de las partes principales de los granos de maíz (%)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: Watson, 1988.

El aceite del germen suministra niveles relativamente altos de ácidos grasos cuando se dan ingestas elevadas de grano de maíz entero, como sucede en determinadas poblaciones, sin

embargo, aquellos que consumen el grano desgerminado, obtienen menos ácidos grasos (Bressani *et al*, 1990). Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. El germen contiene lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz, mientras que el endospermo tiene un bajo contenido de estos compuestos (Howe *et al*, 1965; Bressani, 1971).

Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido en las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada, pero no es suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano.

En base a lo anterior, podemos decir que es recomendable mezclar el maíz con otros granos, como el amaranto, ya que este contiene mayor porcentaje de aminoácidos esenciales que en conjunto superan los niveles recomendados por la FAO.

1.1.4 Usos del Maíz

La producción de maíz en México constituye una de las actividades más importantes del sector rural, no solo en términos de uso de suelo, sino que también en el empleo y el suministro de alimentos a la población rural y urbana del país (Reyes, 1997).

El maíz tiene muchos usos y sus productos secundarios son más numerosos aún. En nuestro país se consume principalmente en forma de tortillas, tamales, pozole, pinole (tostado y pulverizado), atole, roscas, esquites, etcéteras (Borja, 1997). También se elaboran productos extruidos como son las frituras, se hace harina y ciertos preparados para el desayuno que se han generalizado mucho.

El maíz destinado a la elaboración de harina nixtamalizada, es una variedad en la que predomina el almidón blando o menos compacto, que facilita la molienda del grano.

La tendencia actual es la de desarrollar harina de masa nixtamalizada. Después de moler los granos de maíz nixtamalizado, la masa húmeda pasa a través de varias etapas de secado, molienda, cernido, clasificación y mezcla para hacer distintos tipos de harina de masa seca (Gómez, 1987). La harina de masa no se enrancia debido a que tiene muy poca cantidad de

grasa, aproximadamente 3.9g/Kg, como le ocurre a la harina de maíz molido de granos secos completos, y su vida útil puede ser de hasta un año. La disponibilidad de la masa seca tiene el potencial para diversificar y aumentar el uso de maíz para el consumo humano.

Se han desarrollado métodos alternativos para hacer harina de masa tales como la cocción por extrusión (Bazua *et al.*, 1979), micronizando los granos machacados en la solución diluida de cal por medio de un tratamiento térmico con lámparas infrarrojas (Hart, 1985).

El maíz no origina harinas panificables, ya que no contiene en su composición las proteínas que conforman el gluten al amasarse con agua. Como esta harina no tiene la suficiente capacidad para hacer crecer a la masa, es aconsejable mezclarla con otras. En el caso de las botanas no se requiere que los productos adquieran volumen, es por ello que con frecuencia podemos encontrar botanas a base de harina de maíz nixtamalizado, las cuales son de buen sabor pero no presentan los niveles de aminoácidos esenciales requeridos por el organismo según la FAO. Tomando esto en consideración, se puede aprovechar el aporte nutrimental del amaranto para elaborar una botana con una mejor calidad nutrimental.

1.2 Amaranto

1.2.1 Antecedentes Históricos

El amaranto (del griego *ἀμάραντος*, que significa inmortal e inmarchitable) es considerado como un pseudocereal de cultivo anual, en esta semilla predomina el almidón, lo que aunado a sus características agronómicas también semejantes, han llevado a considerarlo de este modo, debido a su sabor que es parecido al de ellos y por qué produce grano o semilla del tipo de los demás (Becerra, 2010). Hallazgos arqueológicos revelan que esta semilla era cultivada y utilizada desde hace más de 4000 años a.C., se cree que se originó en América central y América del sur, fue cultivado masivamente por los mayas y los incas, así como también era de gran importancia en la dieta diaria de los Aztecas. Producían entre 15 y 20 mil toneladas de este cultivo al año, lo que lo ubicaba en tercer lugar después del maíz y el frijol (Teutonico y Knorr, 1985; Paredes, 2001).

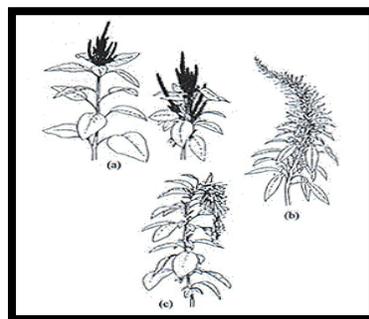
Posteriormente con la llegada de los Españoles a América y durante la Conquista, el amaranto fue eliminado de la dieta de los Aztecas por razones vinculadas a la religión, ya que además de consumir sus granos y hojas como alimento, se utilizaba la harina de

amaranto para la fabricación de estatuillas de deidades llamadas *tzoalli*, que los indígenas utilizaban en las ceremonias religiosas. Los españoles asociaron esto con la ceremonia de la eucaristía del cristianismo, razón por la cual, los sembradíos fueron quemados, además de que eran castigadas las personas que fueran sorprendidas cultivando esta semilla. La cultura del cultivo y consumo del amaranto casi desaparecen, solamente en los lugares más apartados de la conquista española se mantuvo la producción de amaranto (Vargas, 2003; Santín *et al*, 1986; Becerra, 2000).

El amaranto fue redescubierto por la ciencia e investigadores en los años 50's aproximadamente. Pero no fue sino hasta los 70's donde se le designó como uno de los cereales más benéficos para la nutrición y en los 90's y principios del siglo XXI se le está dando mayor importancia a este cultivo. (Paredes *et al*, 1999)

1.2.2 Descripción de la planta y semilla

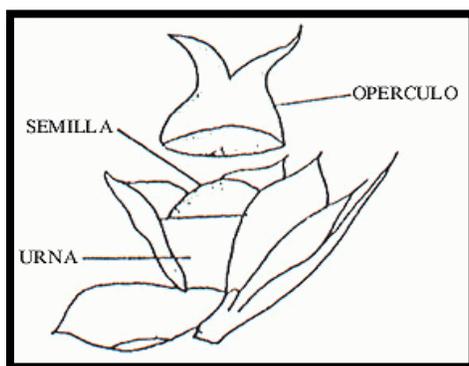
La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes. Son amarantiformes cuando los amentos de dicasios son rectilíneos o compuestos dirigidos hacia arriba o abajo según sea la inflorescencia erguida o decumbente y es glomerulado cuando estos amentos de dicasios se agrupan formando glomérulos de diferentes tamaños, en la figura 2 se puede observar la inflorescencia de *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus caudatus*.



Fuente: FAO, 1993

Figura 2. Planta e inflorescencia de (a) *Amaranthus hypochondriacus* L., (b) *Amaranthus cruentus* L. y (c) *A. caudatus* L.

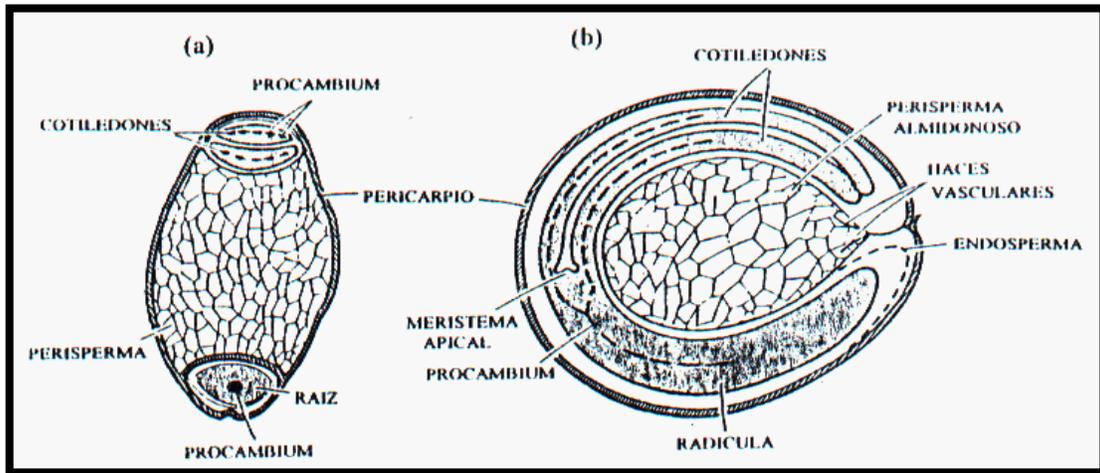
El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. Siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla (Sánchez, 1980). Existen algunas especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto, figura 3 (Brenner, 1990).



Fuente: Brenner, 1990

Figura 3. Pixidio unilocuar de amaranto

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo (Nieto, 1990). Las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones (Irving et al, 1981) (Figura 4).

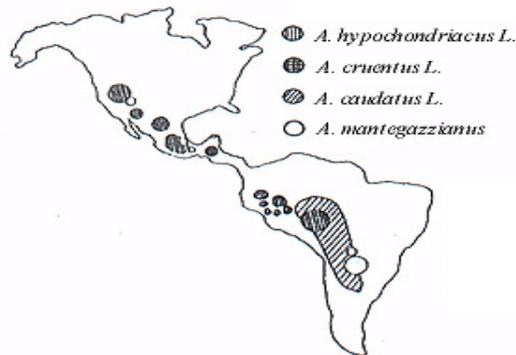


Fuente: Irving *et al.*, 1981

Figura 4. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto

1.2.3 Producción y distribución

El amaranto es un cultivo anual de la familia *Amaranthaceae* que presenta alrededor de 70 géneros y 850 especies. El género *Amaranthus* tiene más de 60 especies, siendo las más importantes y conocidas las siguientes: *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* en México, y *A. caudatus* en Perú. (Figura 5). Estas son las más comunes y resistentes, por lo cual son algunas de las más cultivadas.



Fuente: Sauer, 1976

Figura 5. Distribución del género *Amaranthus* en América.

Según Becerra (2000) las principales zonas que cultivan amaranto en nuestro país son: Puebla como el mayor productor de amaranto con el 51 por ciento de la producción total nacional. Le sigue Morelos, Tlaxcala, el Distrito Federal, el Estado de México y Guanajuato, respectivamente. (Figura 6) (Ramírez, 2007; Ortiz y Ríos, 1992; Espitia, 1991).



Figura 6. Porcentaje de producción

Fuente: Becerra 2000

Aproximadamente se tiene una producción anual de 2959.98 toneladas y un rendimiento de 1.295 ton/ha. El principal productor mundial de amaranto es la India, en particular en el valle de Sutlej y el estado de Himachal Pradesh. En América del sur, Perú es uno de los más importantes países productores (Silva, 2007).

La cosecha se lleva a cabo a fines de octubre o principios de noviembre, justo cuando se termina la época de lluvias, tres meses después de la floración cuando la planta ha alcanzado su madurez y tiene una altura alrededor de dos metros (Teutónico y Knorr, 1985; Trujillo, 1986).

1.2.4 Nutrición y composición química

El amaranto es un pseudocereal muy rico en nutrimentos esenciales para el ser humano. Es fuente de vitaminas y minerales tales como: provitamina A, complejo B y C, Calcio,

Potasio, Magnesio y Hierro, además de que contiene alto porcentaje de proteína como se muestra en la tabla 3 y 4 comparado con otros cereales (Teutonico y Knorr, 1985).

Tabla 3. Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca)

Componente	Contenido
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 - 8,1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3,0 - 3,3
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,5

Fuente: Nieto, 1990.

Tabla 4. Contenido de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (g/100 g porción comestible)

Cultivo	Proteína
Amaranto	13,6 - 18,0
Cebada	9,5 - 17,0
Maíz	9,4 - 14,2
Arroz	7,5
Trigo	14,0 - 17,0
Centeno	9,4 - 14,0

Fuente: FAO, 2012

1.2.4.1 Proteínas

Las proteínas son polímeros, cuyas unidades se denominan aminoácidos que se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Las proteínas pueden estar formadas por más de una cadena de aminoácidos (García, 2010).

Existen aproximadamente 20 aminoácidos, los cuales se clasifican en varias formas, de acuerdo a su estructura molecular, sus propiedades, pero también de acuerdo a su obtención por parte del hombre. En esta última clasificación se tienen los esenciales y los no esenciales. Los aminoácidos esenciales son aquellos que forzosamente debemos incluir en la dieta dado que nuestro organismo no es capaz de sintetizarlos y los no esenciales son los que el organismo puede sintetizar (tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de aminoácidos

Esenciales	No esenciales
Valina (Val)	Alanina (Ala)
Leucina (Leu)	Prolamina (Pro)
Isoleucina (Ile)	Glisina (Gly)
Fenilalanina (Phe)	Serina (Ser)
Metionina (Met)	Cisteina (Cys)
Treonina (Thr)	Asparagina (Asn)
Lisina (Lys)	Glutamina (Gln)
Triptófano (Trp)	Tirosina (Tyr)
Histidina (His)*	Ácido aspártico (Asp)
Arginina (Arg)*	Ácido glutámico (Glu)

Fuente: García 2010

Los aminoácidos esenciales más escasos en una dieta son la lisina, metionina y triptófano. Se debe tener en cuenta que al no ingerir estos aminoácidos se dan diferentes tipos de desnutrición dependiendo del aminoácido faltante, estos problemas generalmente se presentan durante las primeras etapas de desarrollo del ser humano (García, 2010).

Cabe aclarar que las dietas se ven beneficiadas al tener una alimentación mixta donde los alimentos se complementan. De este modo los alimentos con aminoácidos limitantes se ven complementados por otros alimentos que contienen ese aminoácido en mayor cantidad.

El análisis nutricional de la mayoría de los cereales ha demostrado que sus proteínas no cubren el requerimiento necesario de ciertos aminoácidos esenciales que debe de aportar un alimento balanceado como por ejemplo el maíz el cual es deficiente en lisina y triptófano (Charly, 1990. Chávez, 1993).

En la tabla 6 se muestra una comparación entre la composición química del maíz y el amaranto, sobresaliendo el contenido de proteína en este último.

Tabla 6. Composición Química de Amaranto y Maíz

Componente	A. Hypochondryacus	Maíz
Humedad	9.4	10.6
Proteína	15.3	9.4
Lípidos	7.1	4.3
Carbohidratos	62.7	74.4
Fibra	2.9	1.8
Cenizas	2.6	1.3

Fuente: Charly, 1990; Chávez, 1993

La proteína de amaranto tiene la ventaja de que su balance de aminoácidos se acerca más al balance requerido en la dieta humana, según la FAO/OMS. Lo que destaca de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica en por lo menos 6 de los aminoácidos esenciales con el resto de los cereales y en el caso de los 2 aminoácidos limitantes se pueden complementar con otro cereal como por ejemplo el maíz (FAO, 1993). En la tabla 7 se puede apreciar el contenido de aminoácidos de amaranto y maíz.

Tabla 7. Contenido de aminoácidos esenciales de la proteína de amaranto y maíz en comparación con un patrón (mg de aminoácidos / g de proteína)

Aminoácidos	Patrón de aminoácidos(a)	<i>Amaranto</i> (c)	Maíz
Isoleucina	28	39	42
Leucina	66	57	146
Lisina	58	55	39
metionina + cistina	25	47	
fenilalanina + tirosina	63	73	
Treonina	34	36	41
Triptófano	11	10	7
Valina	35	45	57
Histidina	19	30	31

Fuente: FAO/OMS/UNU, 1985.

La proteína del amaranto se encuentra principalmente en el embrión (65%) a diferencia de otros cereales como maíz, arroz y soya que presentan sobre el 80% de la proteína en el endosperma (Bressani, 1989). Además existe una importante variación en el contenido de proteína en diferentes especies de amaranto (Tabla 8)

Tabla 8. Contenido de proteína de varias especies de amaranto (g/100 g)

Especie	Promedio
<i>A.Caudatus</i>	13,5
<i>A.hypochondriacus</i>	15,5
<i>A.cruentus</i>	15,7
<i>A. hybridus</i>	13,7

Fuente: Bressani, 1989.

En cuanto a su calidad biológica, esta semilla presenta biodisponibilidad en su proteína, esta es de muy buena calidad y absorción. Esto se ha podido demostrar en estudios

realizados en ratas, a partir de harina de maíz, trigo y amaranto (Bressani, 1990, Yañez, *et al.* 1994).

Tabla 9. Calidad biológica de la proteína de mezclas de amaranto y maíz (Extruidos)

Mezclas M:A	Ingesta total (g)	Variación del peso (g)	Proteína ingerida (g)	PER
100 : 0	197.5 ± 34.3	22.9 ± 5.8	12.17 ± 1.10	1.77 ± 0.38
90 : 10	213.0 ± 23.3	27.1 ± 6.8	14.19 ± 1.50	1.77 ± 0.38
70 : 30	242.2 ± 14.5	40.4 ± 5.6	18.20 ± 1.13	2.22 ± 0.21
50 : 50	275.4 ± 31.9	58.0 ± 7.8	23.44 ± 2.71	2.47 ± 0.14

M = Maíz A= Amaranto

Fuente: Yañez *et al.*, 1994

En la tabla 9 y 10 se puede observar que la relación de eficiencia proteica (PER) va en aumento conforme se va agregando amaranto a la mezcla de harinas. Sin embargo las combinaciones de harina de amaranto con maíz presentan un PER más elevado en la concentración 50:50 de 2.47 en comparación con la mezcla harina de amaranto con trigo en la concentración 50:50 de 2.24.

Tabla 10. Calidad biológica de la proteína de mezclas de amaranto y trigo (Extruidos)

Mezclas T:A	Ingesta total (g)	Variación del peso (g)	Proteína ingerida (g)	PER
100 : 0	246.1 ± 8.45	40.5 ± 2.3	24.68 ± 0.85	1.64 ± 0.07
90 : 10	246.09 ± 15.09	42.6 ± 5.1	25.07 ± 1.54	1.70 ± 0.12
70 : 30	283.1 ± 22.6	60.5 ± 8.1	29.64 ± 2.34	2.04 ± 0.12
50 : 50	286.3 ± 28.6	68.9 ± 10.5	30.61 ± 3.05	2.24 ± 0.14

T = Trigo A= Amaranto

Fuente: Yañez *et al.*, 1994

1.2.4.2 Carbohidratos

Almidón

El almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por plantas superiores y es la fuente de energía más importante para muchas especies incluyendo humanos. En cultivos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz), esta fracción representa del 30 al 80% del peso seco. (Malca, *et al.* 2001, García, 2010).

En el caso del amaranto, el almidón es el principal componente y su contenido puede variar desde 52.4 a 70% de acuerdo a la especie. El tamaño de la partícula y la distribución son algunas características que influyen en las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. El amaranto presenta gránulos de 1 a 3 μ m con una forma esférica poligonal. (Paredes 2001)

Los gránulos de almidón consisten de dos diferentes fuentes de polímeros de glucosa denominados amilosa y amilopectina. La amilosa es esencialmente un polímero lineal que consiste de largas cadenas de moléculas de glucosa unidas por enlaces α -1,4; y constituye un promedio de 20 a 30% del almidón de los gránulos. El compuesto restante que conforma a los gránulos de almidón es la amilopectina, un polímero ramificado donde las cadenas lineales de moléculas de glucosa están unidas por enlaces α -1,4 y las ramificaciones ocurren en enlaces α -1,6. Los puntos de ramificación ocurren cada 12-20 moléculas de glucosa, en una distancia de alrededor de 9 nm a lo largo del eje de la molécula. (Smith, 2001)

De acuerdo al contenido de amilosa-amilopectina el almidón se clasifica en dos tipos:

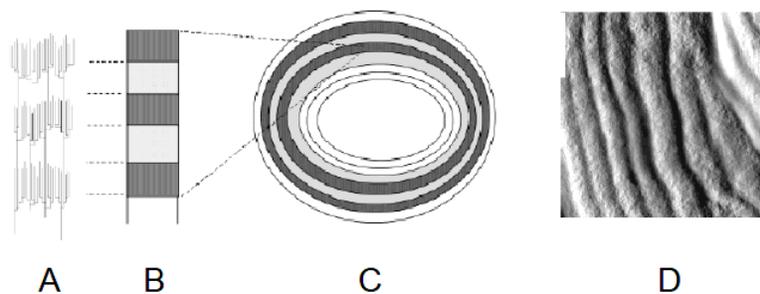
- a) Tipo glutinoso, opaco o ceroso. Está formado principalmente por amilopectina con menos del 1% de amilosa. Se le denomina como la fracción no gelificante, contribuyendo principalmente a la viscosidad en los alimentos debido a su alta viscosidad.
- b) Tipo no ceroso, translucido o normal. Está formado principalmente por amilosa con un contenido menor al 5% de amilopectina. Se le denomina la fracción gelificante y es el principal contribuyente en los fenómenos de retrogradación de almidón.

El almidón de amaranto es principalmente del tipo ceroso, aunque se han encontrado especies con almidón traslucido; estas diferencias pueden ser debidas aparentemente al ambiente en que crece la planta de amaranto.

Caracterización física de los gránulos de almidón

Debido a la distribución de la longitud de las cadenas y su arreglo de grupos, se piensa que el empaquetamiento de moléculas de amilopectina da forma a la matriz semicristalina del granulo (Figura 7) Dentro de los grupos, hay cadenas adyacentes de dobles hélices que se empacan juntas en arreglos ordenados dando como resultado la formación de una laminilla (Figura 7A). La laminilla cristalina se alterna con una laminilla amorfa formada en las regiones donde ocurren los puntos de ramificación con una distancia de repetición d 9 nm (Fig 7B). Las laminillas cristalinas y amorfas se alternan formando anillos semicristalinos concéntricos dentro del granulo (fig. 7C) Este arreglo es denominado como el modelo de almidón liquido cristalino. (Ridout *et al*, 2004; Oostergetel y Bruggen, 1993; Gallant y Bouchet 1997)

Algunos autores como Ridout, Oostergetel y Gallant hicieron énfasis en este nivel de organización y lo llamaron blocklets, donde se considera que estos son paquetes de amilopectina parcialmente cristalina con ramificaciones de moléculas de amilopectina que contribuyen al componente cristalino del granulo (Fig. 7)



Fuente: (Gallant, *et al*, 1997,; Oostergetel y Bruggen, 1993)

Figura. 7 Organización de la amilopectina para formar un granulo de almidón. (A) Formación de una laminilla cristalina, (B) Alternación de laminillas cristalinas y amorfas, (C) Arreglo de laminillas amorfas y cristalinas en anillos concéntricos (D) Apariencia de un corte de un granulo de almidón de chícharo obtenido por microscopia de Fuerza Atómica

Los gránulos de almidón son prácticamente insolubles en agua fría, pero cuando se exponen a altas temperaturas (50-70 °C) en presencia de agua, éstos se hinchan debido al alto porcentaje de agua adsorbida por los grupos hidroxilo. De este modo aumenta la viscosidad de la suspensión de almidón, porque los gránulos hinchados se adhieren entre sí.

Los enlaces de hidrógeno de la amilosa son responsables de la absorción de agua y de la formación de geles (redes tridimensionales) después de la gelatinización. Por su naturaleza cristalina, la amilosa solo se hincha a altas temperaturas.

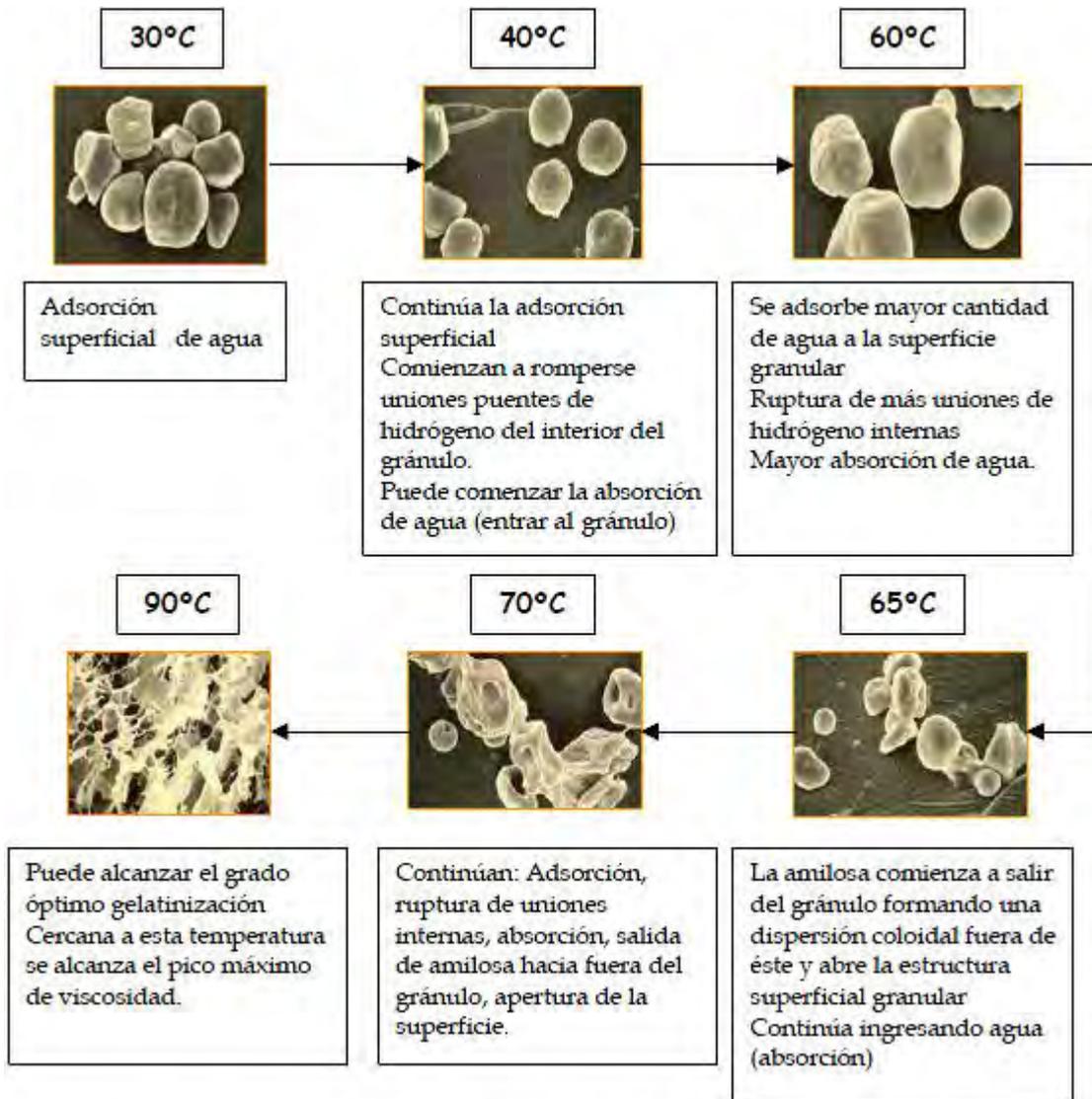
La amilopectina presenta menor grado de cristalinidad que la amilosa y absorbe mucha agua. Los gránulos que contienen mayor porcentaje de amilopectina se disuelven con mayor facilidad en agua a 95 °C. A diferencia de la amilosa, la amilopectina no tiene tendencia a la recristalización, mientras que la amilosa sí.

Las moléculas de amilosa contribuyen a la formación de geles. Esto se debe a que sus cadenas lineales pueden orientarse paralelamente y acercarse lo suficientemente entre sí como para formar uniones intermoleculares. En cambio, las moléculas ramificadas de amilopectina dan viscosidad a la pasta cocida de almidón. Esto se debe parcialmente al rol que tiene esta molécula en mantener el gránulo hinchado luego de la incorporación del agua. No se consideran responsables de la obtención de geles debido a que las ramificaciones impiden estéricamente la unión entre las moléculas.

Los almidones comienzan a gelatinizar a temperaturas entre 60 a 70 °C, dependiendo de cada almidón específico. La pérdida de birrefringencia se puede utilizar como indicador de la temperatura de inicio de la gelatinización, puesto que la misma ocurre cuando comienza el hinchamiento del gránulo. Los gránulos de mayor tamaño suelen ser menos compactos y por ello, comienzan a hidratarse antes que los más pequeños.

A continuación en la figura 8 se muestra la evolución de los gránulos de almidón de maíz a lo largo del proceso de gelatinización (5% almidón-95% agua)

Figura 8. Gelatinización del almidón



Condiciones necesarias para la gelatinización = ALMIDÓN + AGUA + CALOR

Cuando una suspensión de almidón se calienta progresivamente no ocurren grandes cambios hasta que se alcanza una temperatura crítica. En éste punto el gránulo comienza a hincharse hasta llegar a la gelatinización.

La gelatinización ocurre en un rango de temperatura. Luego del comienzo de la gelatinización, los gránulos de almidón continúan hinchándose a medida que aumenta la temperatura. Eventualmente esos gránulos hinchados aumentan tanto su tamaño que

embeben toda el agua libre y comienzan a aglomerarse entre sí, produciendo una pasta de almidón cocida de textura viscosa.

Cuando el agua comienza a entrar dentro del gránulo, ésta lo hace mediante la ruptura de enlaces débiles de las zonas amorfas accesibles. Con el aumento de la temperatura, se incrementa el hinchamiento de los gránulos por la ruptura de uniones más fuertes o zonas menos accesibles.

1.2.4.3 Lípidos

Los lípidos son moléculas orgánicas de cadena larga o corta, que se encuentra en el organismo. Estas moléculas contienen carbono, hidrogeno y en algunas oxígeno.

Los lípidos se pueden clasificar en saponificables y no saponificables, simples y complejos, saturados e insaturados, entre otras. Los lípidos saturados son los que no cuentan con dobles enlaces dentro de la cadena lipídica teniendo enlaces simples entre carbono y carbono y los insaturados son los que cuentan con uno (monosaturados) o más dobles enlaces (poliinsaturados) entre carbono y carbono dentro de la cadena lipídica.

Dentro de los lípidos insaturados se tienen diferentes tipos, pero los más importantes o los más destacados son los Omega-3 y Omega-6, estos son ácidos grasos poliinsaturados esenciales para el organismo ya que son partes de las estructuras de membranas celulares, son usados en el proceso de obtención de energía y la síntesis de hormonas entre otras cosas. Son esenciales dado que el organismo no las puede sintetizar y su ausencia produce problemas metabólicos. La característica que los hace Omega 3 y 6 es que presentan el doble enlace dentro de los últimos 7 carbonos a partir del metilo terminal ocupando las posiciones 3 (n-3, Omega-3) y 6 (n-6, omega-6).

La semilla de amaranto contiene en mayor cantidad 2 ácidos grasos importantes: el linoleico (Omega-6) y el oleico (Omega-9). (Broughton, *et al*, 1997. Kinsella, *et al*, 1998. Paredes, 1999).

Los lípidos totales contenidos en el grano de amaranto están en un rango de 5.4 a 17% en base seca. De esta composición se tienen triglicéridos hasta en un 90%, en un 6.4 por

glicolípidos y en un 3.6% fosfolípidos. Contienen ácidos grasos insaturados en un 25%. En este caso el más importante es el linoleico, uno de los ácidos grasos indispensables a los nutrimentos que el organismo no puede producir por si solo y que es necesario ingerirlos de alguna fuente de alimento (Farfan, 1993). En la tabla 11 y 12 se puede ver los contenidos de ácidos grasos que presenta el amaranto.

Tabla 11. Contenido de ácidos grasos.

Ácido graso predominante:	Linoleico
Ácidos grasos secundarios:	Oleico y Palmítico
Relación (saturados: insaturados)	0.26-0.31
Similitud nutricional	Aceite de maíz/arroz
Escualeno	5.0-7.0% (del aceite)

Fuente: Paredes, 1999; Teutonico y Knorr, 1985

Tabla 12. Composición del aceite de la semilla del amaranto.

Ácidos Grasos	Contenido (g/100g)
Ácido oleico	23.3
Ácido linoleico	44.0
Ácido palmítico	18.4
Ácido linolénico	1.3
Ácido mirístico	0.2
Ácido miristoleico	0.1
Ácido miristolénico	0.1
Ácido palmitoleico	0.8
Ácido palmitolénico	0.9
Ácido esteárico	3.8

Fuente: Casillas, 1986a.

En cuanto al Escualeno es un lípido que comúnmente se obtiene de animales como la ballena y tiburón, así mismo se ha reportado que tiene efectos benéficos a la salud, tales

como la disminución del riesgo de varios tipos de cáncer y en la reducción de los niveles de colesterol en sangre (Berger *et al.*, 2003).

1.2.4.4 Fibra

El amaranto tiene altos contenidos de fibra, esto puede deberse a que el grano una vez cosechado, sigue manteniendo la cascarilla, lo que aumenta la cantidad de fibra insoluble por lo que la fibra dietética también aumenta. El valor de la fibra dietética del amaranto es muy similar al del maíz, solo que el amaranto tiene gran cantidad de fibra insoluble por lo cual su principal función es la del barrido intestinal, además de reducir la cantidad de colesterol en la sangre evitando problemas cardiovasculares, cáncer de colon, estreñimiento (Kritchevsky y Bonfield, 1998. Mahan y Arlin, 1995).

1.2.4.5 Vitaminas y minerales

En la semilla de amaranto no se tienen grandes cantidades de vitaminas, comparado con otros cereales. Sin embargo se tienen cantidades suficientes para una alimentación sana y balanceada (Bressani, 1990). A continuación se muestra en la tabla 13 y 14 el contenido de vitaminas y minerales presentes en el *A. hypochondriacus*, comparado con la ingesta diaria recomendada por la FAO.

Tabla 13. Contenido de vitaminas en la semilla de amaranto

Componente (mg/100g)	<i>A. hypochondriacus</i>	FAO/WHO/UNU
Ácido ascórbico	3.0-7.1	60
α-Tocoferol	1.57	9
Biotina	43-51	0.3-1
Ácido fólico	42-44	0.18-0.20
Niacina	1.0-1.5	15-19
Retinol	ND	0.8-1.0
Riboflavina	0.19-0.32	1.3-1.7
Tiamina	0.1-0.14	1.1-1.5

ND= No disponible

Fuente: Bressani, 1994

Tabla 14. Contenido de minerales en la semilla de amaranto

Fósforo	600
Potasio	563
Calcio	244
Magnesio	342
Sodio	23
Hierro	53
Cobre	2.40
Manganesio	3.5
Zinc	3.8

Fuente: Bressani, 1994

1.2.5 Usos

Actualmente, la forma más común de consumir el amaranto en México es el popular dulce "*alegría*", cuya preparación, curiosamente, deriva del antiguo tzoalli, con la diferencia de que en lugar de harina de amaranto se utilizan las semillas reventadas como rosetas de maíz. En menor escala, y de manera más localizada, las semillas son molidas y mezcladas con maíz para elaborar platos típicos, y las hojas verdes se emplean en preparaciones similares a las del consumo de espinaca (Cabrera, 2007).

Conociendo las propiedades nutrimentales del amaranto, se pretende ampliar más la producción de este cereal promoviendo la industrialización de nuevos productos, como es el caso de las botanas, donde se pretende aumentar el contenido nutrimental por medio de la mezcla de harina de maíz y amaranto.

1.3 Botanas

Debido a que la tendencia a comer "entre comidas" aumenta, es importante que la gente aprenda a incorporar las botanas disponibles a una dieta y un estilo de vida equilibradas. A menudo, se piensa que comer "entre comidas" es dañino y contrario a una alimentación

sana. Sin embargo, los aperitivos pueden desempeñar un papel muy útil en una dieta sana y equilibrada (Pérez *et al.*, 2006).

Los tipos de botanas varían de un lugar a otro; algunas culturas prefieren alimentos salados como galletas, panecillos crujientes, papas fritas, frutas secas y pizzas entre otros; mientras que otras personas se inclinan por los yogures y los postres preparados, la fruta u otras botanas dulces como galletas, bizcocho, chocolate, golosinas, helados o refrescos (Pérez *et al.*, 2006).

Algunos autores definen las botanas como una comida pequeña y ligera que debe cumplir con varias condiciones, tales como ser fáciles de manipular, estar listas para comerse, ser accesibles, ser de tamaño pequeño, consistir en raciones individuales y lo más importante deben satisfacer la sensación de hambre por un momento (Pérez *et al.*, 2006).

La mayoría de las botanas elaboradas con maíz, aportan gran cantidad de carbohidratos, sin embargo, las grasas se encuentran presentes debido a que estos productos son sometidas a procesos de freído. Este alimento proporciona una cantidad importante de calorías, que al ser consumidas con frecuencia provocan el incremento de peso en las personas. Lo ideal sería mantener una dieta balanceada pero por diferentes factores no se lleva a cabo.

Tomando en cuenta lo anterior se ha planteado la elaboración de una botana de maíz reducida en grasa (horneada) con un mejor aporte nutricional, complementándola con amaranto, el cual, como ya se mencionó con amplitud, contiene una elevada cantidad de proteínas de buena calidad, fibra, grasa y minerales, nutrientes que son deficientes en una botana de maíz.

Las botanas, cuentan con atributos específicos de calidad que atraen a la gente, estos atributos están constituidos por la apariencia, sabor, color y textura y este último es uno de los más importantes (Bourne, 1982).

1.3.1 Textura

Definición de textura

La textura es la manera en la cual varios constituyentes y elementos estructurales de un alimento están arreglados y combinados en micro estructuras y macro estructuras cuyas manifestaciones externas se presentan en términos de flujo y deformación (De Man, 1975).

Es una combinación de efectos físicos y propiedades químicas (forma, tamaño, número,

naturaleza), que determinan la disposición o manera que la unión de éstas componen el material.

La textura de los alimentos formulados depende de los ingredientes de origen natural (formulación, adición, componentes, etcétera), lo cual nos permite controlar y desarrollar texturas específicas no encontradas en alimentos naturales.

Prueba de punción

Para el control de calidad y el desarrollo de productos alimenticios como grasas, mantequillas, quesos, geles, pan, frutas, chocolates, etcétera, son comunes las pruebas de punción y/o penetración. En esta prueba el material que está bajo prueba es sometido a una combinación de compresión y cizallamiento. En los materiales sólidos la prueba es totalmente destructiva. Para maíz se utilizan agujas y la prueba consiste en medir la fuerza requerida para hacer incidir un punzón en el alimento. Se caracteriza por: A) la medida instrumental de la fuerza, B) la penetración del punzón del alimento causando fractura irreversible o fluidez al alimento y C) la profundidad de la penetración que usualmente es constante (Casas y Ramírez., 2001).

En esta prueba se debe asumir que la muestra es mucho más grande que la punta de prueba haciendo despreciable su efecto en los bordes y la superficie (Figura 9 y 10), para que las fuerzas se deriven principalmente por punción y exista una combinación de compresión, corte y cizalla.

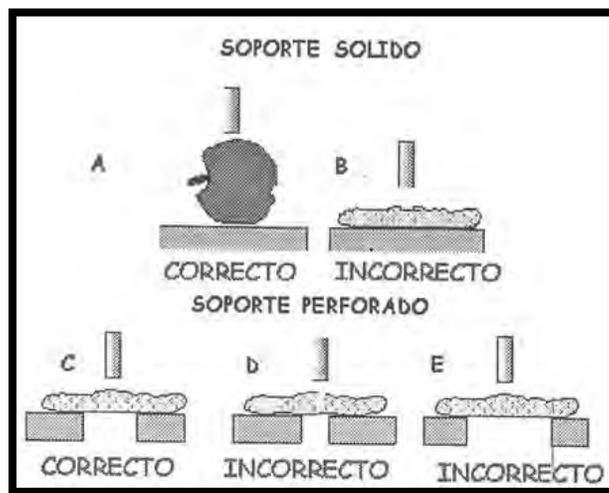


Figura 9. Relación correcta de áreas del material y dispositivo en una prueba de punción.

Fuente: (Bourne, 1982)



Figura 10. Posición correcta del material utilizada en prueba de punción.

Fuente: (Bourne, 1982)

Materiales quebradizos y crujientes

Las evaluaciones como crujidez, masticabilidad y resistencia son procesos de deformación. La definición inicial de crujiente puede estar correlacionada con la velocidad y la fuerza que se aplica al cerrar las mandíbulas. Según Rosenthal (2001), cuando el material se fractura la fuerza cae. Lo crujiente se puede relacionar con una caída rápida de fuerza, asociada con la rápida propagación de la fractura, ésta necesita que el material sea frágil. La fuerza máxima alcanzada debería ser igual a la dureza, cuando más alta sea la fuerza más duro será el material como se observa en la Figura 11; si el alimento se deforma posteriormente a la fractura principal, las caídas van relacionadas con lo crujiente, si los picos son pequeños y frecuentes, el alimento se desbarata fácilmente, por el contrario si son grandes y frecuentes puede haber una transición de textura crujiente a dura (Rosenthal, 2001). La condición quebradiza es una característica de textura difícil de alcanzar muy parecida a la crujiente o dura, sin embargo diferente. En la mayoría de los casos se ha visto que para lograr un producto crujiente debe fragmentarse abruptamente en varios pedazos al morderlo, la cual tiene que ver tanto con la sensación vibratoria (sonido) de la mordida, como con la fuerza que se requiere para la fragmentación.

Los alimentos quebradizos, por lo general presentan una estructura celular. Las células no se rompen en forma simultánea al morderlas, sino que son separadas en pequeños fragmentos. También existen otras texturas que pueden ser celulares. El lograr una condición quebradiza, o de otro tipo, depende del tamaño de la célula y el grado de expansión celular

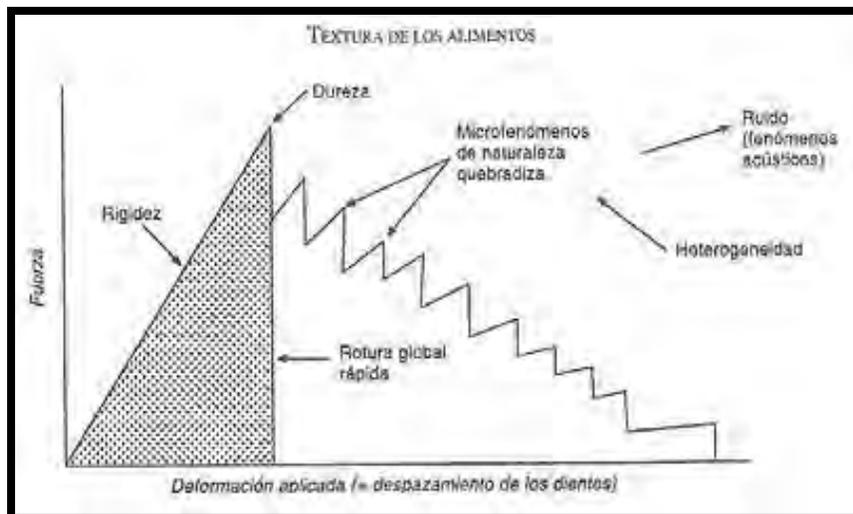


Figura 11. Gráfica para un material crujiente

Fuente: Rosenthal, 2001

También podemos definir lo crujiente como la distancia a la que se presenta la fractura, a menor distancia el producto será más crujiente (Parra, 2006).

Quebradizo es definido como la cualidad de fracturarse en muchas pequeñas partes debido a la fuerza de compresión y se puede asociar con la fragilidad. Parra definen lo quebradizo como una propiedad textural caracterizada por ser frágil y naturalmente pulverizable. Bourne (Kilcast, 2004) indicó que los alimentos quebradizos y crujientes se caracterizan por:

- Tener una estructura rígida no deformable que se puede colapsar con una fractura frágil y una rápida caída de la fuerza después de la fractura.
- Requiere poca fuerza para quebrarse.
- Se rompe rápidamente en pequeñas piezas.
- Requiere poco esfuerzo para ser masticado.

En el presente trabajo para el análisis de resultados de la prueba de corte en las botanas utilizaremos la siguiente definición como referencia:

Crujiente: pendiente inicial de la curva fuerza-tiempo y rápida caída de fuerza, después de la fractura principal.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar una formulación que contenga alto contenido de harina de amaranto, tomando como base el 50% para elaborar una botana tipo churruto con mayor aporte nutrimental y características sensoriales y de textura similares a las de un producto comercial.

Objetivo particular 1

Determinar la composición química de la materia prima (harina de amaranto y maíz), a través de un análisis químico proximal para evaluar la calidad de la materia prima.

Objetivo particular 2

Evaluar las distintas formulaciones de harina de maíz con amaranto, mediante una prueba sensorial de preferencia, de textura y un análisis químico proximal, para seleccionar la que presente un conjunto de atributos mayores.

Objetivo particular 3

Evaluar la calidad nutrimental de la botana que presenta mayores atributos, mediante la determinación de su perfil de aminoácidos y el resto de sus componentes, para comparar el incremento con respecto a una botana comercial.

Objetivo particular 4

Evaluar si el producto con la mejor formulación escogida es aceptado por el consumidor, mediante una prueba sensorial de nivel de agrado, para considerar esta botana como un producto que cumple con los parámetros que la definen.

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales y métodos

Material Biológico

Para la elaboración de las botanas tipo churruto se emplearon como materia prima harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) variedad Tulyehualco cosecha 2010 y harina de Maíz nixtamalizada marca MASECA.

3.2 Preparación de la muestra

Por medio de un molino de cuchillas Thomas-Wiley se realizó la molienda del grano de amaranto, utilizando una criba de 1mm de diámetro de poro, lo cual posteriormente fue sometido a un tamizado con la malla #20, 30 y 40 USA serie Tyler, con la finalidad de obtener una harina de amaranto con alto contenido de fibra. La harina que paso a través de la malla 40 fue empleada para el análisis y elaboración del producto.

3.3 Análisis Químico Proximal de la materia prima

Se realizó el análisis químico de las materias primas: Harina de amaranto y Harina de maíz nixtamalizada (MASECA), de acuerdo a los métodos propuestos por el AOAC (1995).

3.3.1 Determinación de Humedad

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

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

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)

3.2.2 Determinación de Extracto etéreo

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet, el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de muestras libres de humedad. El solvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expreso como porcentaje de grasa extraíble.

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

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)

3.3.3 Determinación de proteína

Por medio del método micro-kjeldahl se determinó proteína. Este método se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expreso como porcentaje de proteína.

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

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

Donde:

V_1 = Volumen del HCL gastado en la muestra (ml)

V_2 = Volumen del HCL gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCL

W = Peso de la muestra (g)

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína

Amaranto: 5.87 y Maíz: 6.25

3.3.4 Determinación de cenizas

El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 530 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{ Cenizas totales} = [(W3-W2)/W1]*100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g)

W2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W3 = Peso del crisol con las cenizas (g)

3.3.5 Determinación de fibra cruda

El método consiste en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una segunda alcalina obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda.

$$\% \text{ Fibra cruda} = [(Ws-Wp)-(Wc-Wcp)]/M*100$$

Donde:

Ws = Masa del residuo seco a 130 °C (g)

Wp = Masa del papel filtro (g)

Wc = Masa de las cenizas (g)

Wcp = Masa de las cenizas del papel (g)

M = Masa de la muestra (g)

3.3.6 Determinación de carbohidratos

Esta determinación se realizó por diferencia.

3.4 Elaboración de la botana

3.4.1 Formulaciones

Las formulaciones propuestas se realizaron partiendo de una concentración de harina de amaranto del 100% y como límite inferior el 50% de esta harina. Dentro de cada formulación existe una diferencia del 10% como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Formulaciones propuestas en base seca.

	FORMULACIONES					
	I	II	III	IV	V	VI
M. Prima	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
H.A.*	50	60	70	80	90	100
H.N.	50	40	30	20	10	0

***H.A. Harina de amaranto, H.N. Harina de maíz nixtamalizada**

3.4.2 Procedimiento

Una vez propuestas las formulaciones anteriores, se midió el volumen de agua requerido y se pesaron las harinas. Después fueron mezcladas (harina de amaranto y harina de maíz nixtamalizada), posteriormente se incorporó agua conforme se realizaba el amasado.

La masa obtenida fue forzada a pasar por una duya, dando un formado al producto.

De las formulaciones propuestas, fueron descartadas algunas, ya que durante el proceso de amasado no formaban una masa consistente.

Para el resto de las formulaciones, estas fueron horneadas a una temperatura de 180 °C durante un tiempo de 20 minutos.

3.5 Evaluación sensorial

A los churritos elaborados, se les realizaron dos pruebas sensoriales (Pedrero y Pangbord, 1989); la primera fue una prueba de preferencia, la cual fue aplicada a 89 jueces no

entrenados con muestras codificadas, a quienes se les dio a probar cuatro formulaciones diferentes y se les pidió que calificaran cada muestra en base a un cuestionario (Anexo 1). Con los resultados obtenidos de la primera prueba, se seleccionó únicamente una formulación a la cual posteriormente se le aplicó la prueba de nivel de agrado, con jueces no entrenados. Esta prueba consistió en la evaluación del grado de aceptación o rechazo hacia el producto, en base a sus características como son sabor, color y textura. Los datos fueron reportados en cuestionarios donde se muestra una escala no estructurada, también llamada hedónica (Anexo 3).

3.6 Análisis Químico Proximal del producto

Para evaluar la calidad de los componentes químicos de la nueva formulación obtenida se realizó su análisis químico proximal, de acuerdo a los métodos propuestos por la AOAC (1995) y se compararon con dos productos comerciales, así como también con el resto de las formulaciones.

3.7 Evaluación de Textura

Tomando en cuenta las características de un material crujiente, se realizó una prueba de punción con un dispositivo cilíndrico de 3mm diámetro donde se evaluó que tan crujiente son las botanas tipo churritos elaboradas con amaranto, y también se aplicó la prueba a productos comerciales para compararlas con las nuestras.

Uno de los factores que afectan directamente a la textura es el contenido de humedad, es por ello que en todas las formulaciones se empleó el mismo porcentaje y durante el horneado se mantuvieron las mismas condiciones de temperatura y tiempo. Para evitar que la humedad del medio ambiente afectara las muestras, se realizó la prueba de textura al siguiente día de haber sido elaboradas.

Las características de textura de las botanas se midieron por compresión con un analizador de textura INSTRON 7.5. Las muestras se colocaron en una placa cónica de metal con un

orificio en el centro, comprimiendo a una velocidad de 30mm/min con un cilindro metálico de 3mm de diámetro.

3.8 Evaluación de la calidad proteica

3.8.1 Cuantificación de triptófano

Para evaluar la calidad de la proteína presente en los churritos complementados con amaranto, en primera instancia se realizó la determinación de uno de los aminoácidos importantes como es el caso de Triptófano (Arrizon-López *et al.*, 1987). Esta determinación se realizó a las formulaciones con la menor y mayor concentración de amaranto (50:50, 80:20) y a la harina de amaranto, con la finalidad de conocer en qué medida se genera el aporte de este aminoácido.

Fundamento:

La hidrólisis ácida destruye el triptófano, por lo que se tiene que recurrir a las hidrólisis alcalinas o enzimáticas. Es también el único aminoácido que no se puede cuantificar junto con los demás aminoácidos resultantes de la hidrólisis ácida en equipos como autoanalyzer o HPLC, por lo que las técnicas calorimétricas para su cuantificación son múltiples. En este caso se hizo una hidrólisis enzimática y se desarrolló color con p-Dimetilaminobenzaldehido (DMAB) y NaNO_2 (Nitrito de sodio) como contraste

Cálculos:

$$A = \epsilon C l$$

Donde:

A = Absorbancia

ϵ = Absorvidad molar

C = Concentración

l = Ancho de la celda = 1cm

Y de la ecuación de la línea recta se sustituyen los valores en la ecuación de la absorbancia:

$$Y = mx + b$$

Donde:

A = Y = Absorbancia de la muestra

C= x = Concentración de triptófano en la muestra

$\varepsilon = m$ = Pendiente de la curva estándar (ε)

b = Ordenada al origen de la curva estándar

$$x = \frac{y-b}{m}$$

3.8.2 Perfil de aminoácidos

Posteriormente, fue seleccionada la formulación que presentaba mayor cantidad de atributos y se realizó la cuantificación del perfil de aminoácidos restantes.

Fundamento:

Para la cuantificación de aminoácidos en los alimentos, debe existir previamente una etapa de hidrólisis. La hidrólisis ácida en fase de vapor (HCL 6N, 0.1% de fenol), es una adaptación que permite incrementar el rendimiento del proceso de hidrólisis, pues las pérdidas por oxidación de aminoácidos se reduce debido a la combinación de de Nitrogeno y vacío durante la preparación de las muestras a hidrolizar, el contacto de HCL gaseoso con la muestra y un control eficiente de la temperatura y tiempo de hidrólisis (145 °C, 4h) (Arrizon-López *et al.*, 1987).

La cuantificación de aminoácidos se realizó por medio de un Autoanalizador de aminoácidos Beckman System Gold 6300, Buffers de Sodio Na-EFD y una columna 20cm, flujo 21ml/h.

3.9 Método estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado, obteniéndose promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales, se calculó la frecuencia y la media y se realizó la comparación de medias por la prueba de rango múltiple t-student con el programa estadístico Origin V. 4.0

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Se determinó la composición química de las materias primas para compararlas y conocer su calidad y en base a ello, poder hacer uso de estas harinas en la obtención de la botana tipo churrito. Los resultados (tabla 16) mostraron que el contenido de proteína, fibra, grasa y minerales en la harina de amaranto es mayor en comparación con la harina de maíz nixtamalizada (MASECA), y en todos los casos las diferencias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Cabe destacar que la harina de amaranto tiene el doble de proteína que la harina de maíz, así como tres veces más fibra y el doble de minerales y lípidos. Estos resultados confirman que la calidad nutrimental del amaranto es mejor que la del maíz y por lo tanto al mezclarse se complementan sus componentes, por lo que es aceptable trabajar con estas harinas en conjunto, además de que es similar la composición química con respecto a la reportada por distintas fuentes bibliográficas.

Tabla 16. Composición química de harina de amaranto y harina de maíz nixtamalizada (MASECA)

Componente	H. Nixtamalizada (MASECA) %	H. Amaranto (%)
Humedad	5.1^a	5.25^a
Proteínas	8.3^a	16.43^b
Lípidos	3.9^a	7.35^b
Carbohidratos	75.4^a	59.11^b
Fibra	5.94^a	9.20^b
Cenizas	1.35^a	2.66^b

4.2 Elaboración de la botana

4.2.1 Formulaciones

Para la elaboración de las botanas se propusieron diferentes formulaciones preparadas con harina de amaranto (HA) y harina de maíz (HM) (tabla 17).

Tabla 17. Formulaciones propuestas en base seca.

	FORMULACIONES					
	I	II	III	IV	V	VI
M. Prima	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
HA*	50	60	70	80	90	100
HM	50	40	30	20	10	0

*HA Harina de amaranto, HN Harina de maíz nixtamalizada

Durante el proceso de amasado algunas de las formulaciones planteadas al inicio fueron descartadas, principalmente las que contenían mayor porcentaje de harina de amaranto (90% y 100%), porque la masa que se produjo fue muy pegajosa y no permitió formar los churritos. Esto se explica por las propiedades que poseen la amilosa y la amilopectina. Si hablamos de la amilosa, esta contribuye a la formación de geles, debido a que sus cadenas lineales pueden orientarse paralelamente y acercarse lo suficiente entre sí como para formar uniones intermoleculares atrapando agua. A mayor concentración de amilosa se obtendrá un gel más firme y menos pegajoso. En cambio, las moléculas ramificadas de amilopectina dan viscosidad a la pasta. Esto se debe parcialmente al rol que tiene esta molécula en mantener el gránulo hinchado luego de la incorporación del agua. Con base en esta información y teniendo en cuenta que, el amaranto presenta un menor porcentaje de amilosa que el característico para otros cereales como el maíz y un mayor porcentaje de amilopectina; se demuestra que la causante de una masa con menor firmeza y mayor pegajosidad que se produce al incrementar el contenido de harina de amaranto en las formulaciones, es la amilopectina, que se encuentra presente en el almidón de amaranto (Silva, 2007; Fanelli, 2011).

En la figura 12 se muestran las formulaciones con las que se pudieron obtener las botanas que presentaron mejores características como producto final.



Figura 12. Churritos elaborados con cuatro formulaciones diferentes
(H.A. Harina de amaranto; H.M. Harina de maíz)

4.3 Evaluación de textura

Una de las pruebas empleadas para seleccionar la mejor formulación fue la evaluación de textura, de los churritos elaborados con los cuatro diferentes porcentajes de amaranto mostrados en la figura 10. Además se aplicó la prueba a las botanas comerciales, con la intención de conocer la fuerza requerida para la fractura de estas y poder comparar con las formulaciones obtenidas, ya que algunas de ellas están compuestas por más de dos harinas incluyendo el amaranto y otra solamente harina de maíz.

El procedimiento empleado para esta prueba inicio con la selección del dispositivo a utilizar, ya que existen diferentes geometrías, dimensiones y materiales. Para este caso se empleó un cilindro metálico con un diámetro de 3mm, posteriormente se colocó la muestra en la base y se programó el equipo a una distancia aproximada de 1 mm. Una vez iniciada la prueba, el equipo comenzó a descender, encontrándose en contacto con la muestra hasta ejercer la fuerza suficiente para ocasionar fractura y rompimiento. Al llegar a este punto automaticamnte se finaliza la prueba y se genera un registro de datos. Ver fig 13

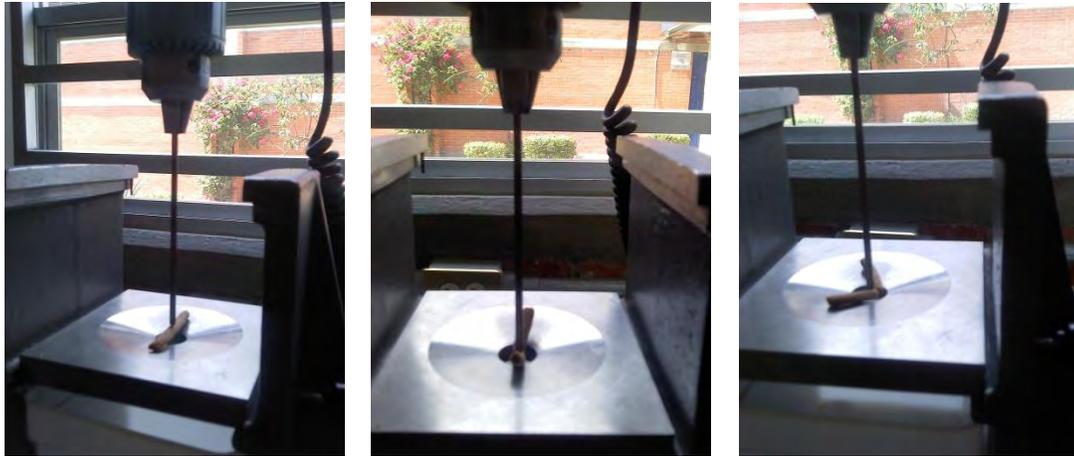


Figura 13. Texturometro INSTRON 7.5

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente, donde se observan las curvas características de compresión que representan diferentes magnitudes de fuerzas en función de distancia.

Evaluación de Textura en las botanas comerciales

En primera instancia se realizó la prueba para la botana de la marca Nutrisa (figura 14), la cual reporta en su formulación Harinas de Trigo, Maíz, Amaranto, Soya y Ajonjolí, esta muestra fue analizada para compararla con las elaboradas en este trabajo por su contenido de amaranto.

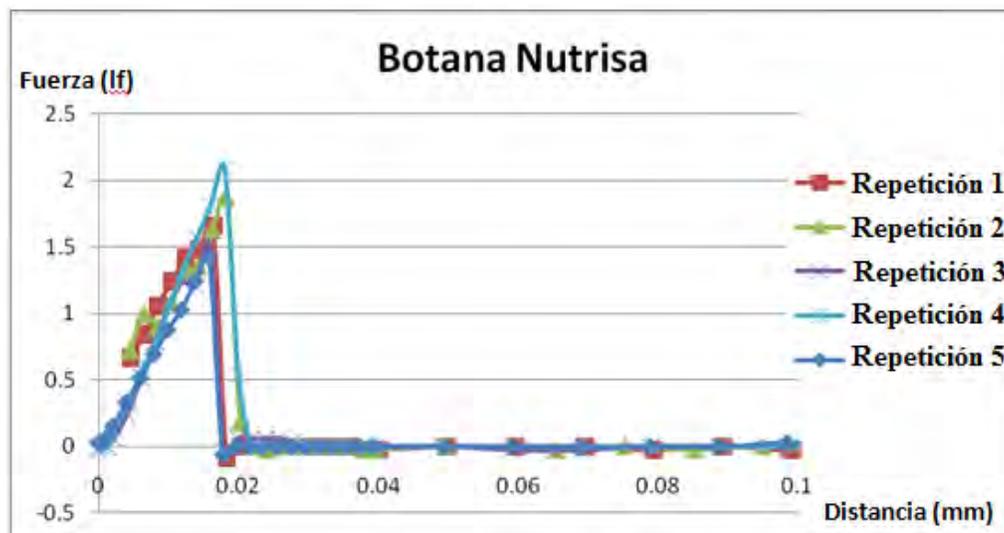


FIGURA 14. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churrito de la marca Nutrisa

Los resultados mostraron que al aplicar una fuerza en promedio de 1.70 lf, se generó una ruptura de la estructura celular, porque se observó una caída rápida de fuerza aproximadamente a una distancia de 0.019mm. También se observó que después de la caída no existen picos que indiquen que el material es quebradizo (Rosenthal, 2001).

La siguiente muestra sometida a esta prueba fueron las botanas tipo churruto marca Churrumais (producto comercial), según la etiqueta ésta botana, está elaborada únicamente con harina de maíz. Los resultados se muestran en la figura 15.

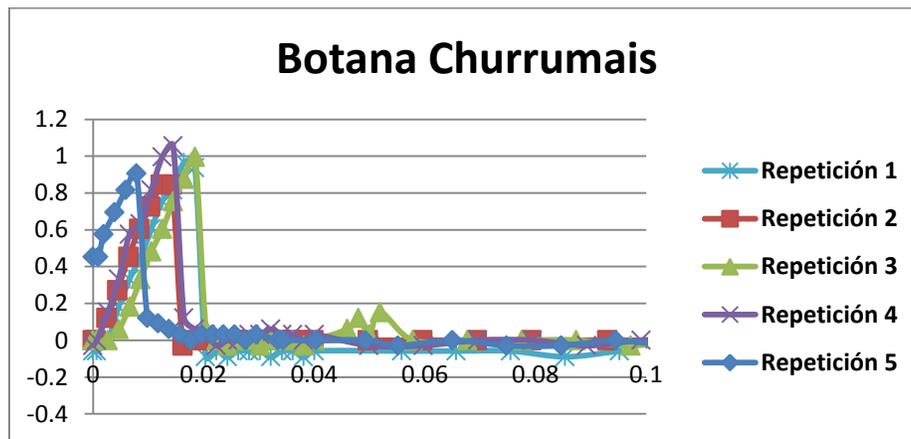


FIGURA 15. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churruto de la marca Churrumais.

La curva de compresión de la botana de “churrumais” muestra un aumento de la fuerza en la primera zona de 0.95 lf como promedio, la cual fue menor a todas las botanas evaluadas, que posteriormente serán analizadas. En la segunda zona, es decir, después de la caída, se observan pequeñas fracturas en forma de picos con menor magnitud que la inicial, lo que nos indica que este producto presentó características de un material quebradizo (Rosenthal, 2001).

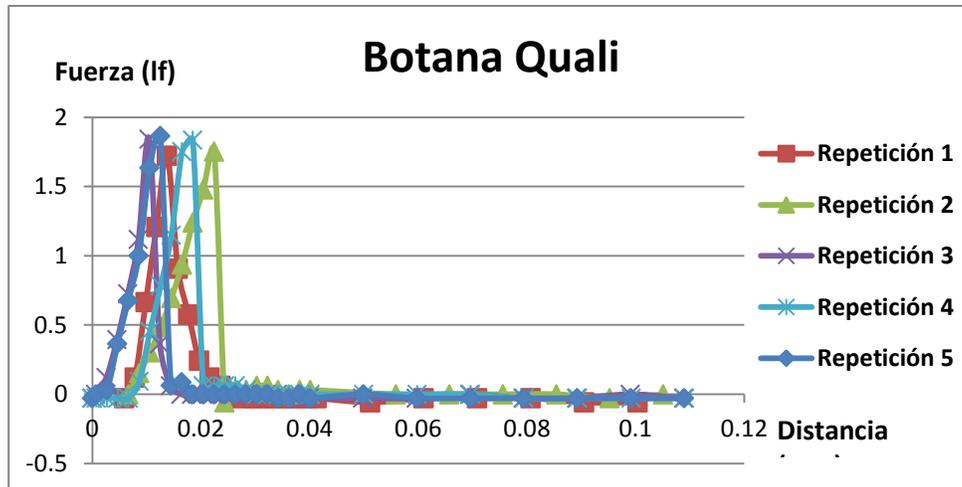


FIGURA 16. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churruto de la marca Quali.

La última botana comercial analizada fue de la marca Quali (figura 16), se obtuvo un promedio de 1.82 If en la fuerza de fractura y fue el valor más alto de las muestras comerciales.

Evaluación de Textura en distintas formulaciones elaboradas con amaranto

A continuación se muestran las pruebas realizadas a las botanas elaboradas en el laboratorio con diferentes porcentajes de amaranto. En la figura 17 se muestran los resultados de la botana elaborada con 80%HA y 20% HM

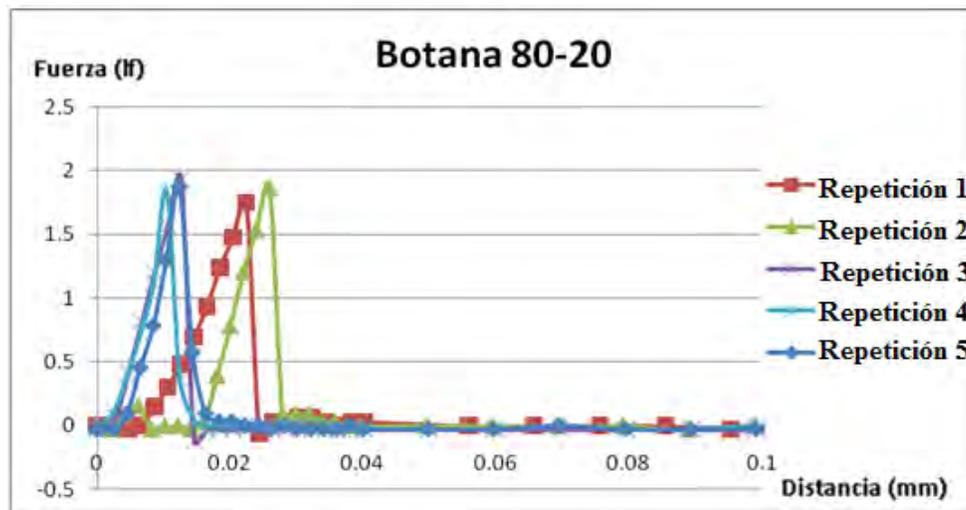


FIGURA 17. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churruto elaborada con 80%HA y 20% HM

En la formulación 80-20 se observó que la fuerza máxima aplicada para provocar la fractura fue de 1.85 lf, muy similar en las 5 repeticiones, sin embargo se pudo observar que la distancia que recorre el penetrómetro para generar la fractura es diferente en la repetición 1 y 2, esto posiblemente se debió a que el dispositivo cilíndrico comenzó la prueba a una distancia mayor en estas muestras a comparación del resto. A pesar de ello la distancia inicial no influyó en los resultados ya que como se observa en la figura 17, el área bajo la curva es similar, así como también la caída de fuerza. Lo que nos está indicando que es un material crujiente.

A continuación se muestra en la figura 18 los resultados de la formulación 70-30, donde la fuerza requerida para la fractura es de 1.63 lf, presentando una caída de presión inmediata y posterior a ello, un comportamiento casi lineal, indicando que es una botana crujiente (Rosenthal, 2001). A diferencia de la botana 80-20, se produce un decremento en la fuerza de fractura.

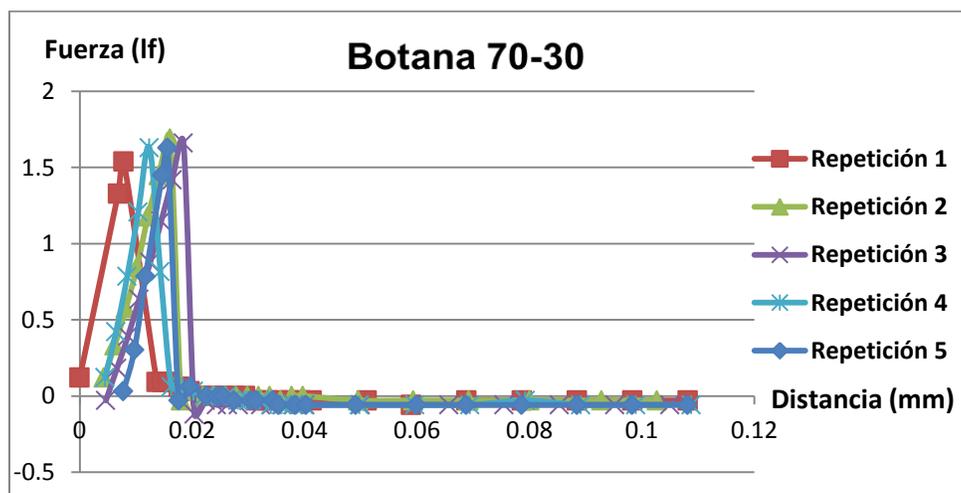


FIGURA 18. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churrito elaborada con 70%HA y 30% HM

En la figura 19 se muestra la evaluación para la formulación de 60-40 y se observó que la máxima fuerza aplicada para provocar el rompimiento del producto fue de 1.44 lf en promedio. Mostrando que conforme disminuye el porcentaje de harina de amaranto en el producto, disminuye la fuerza aplicada para obtener la ruptura del producto.

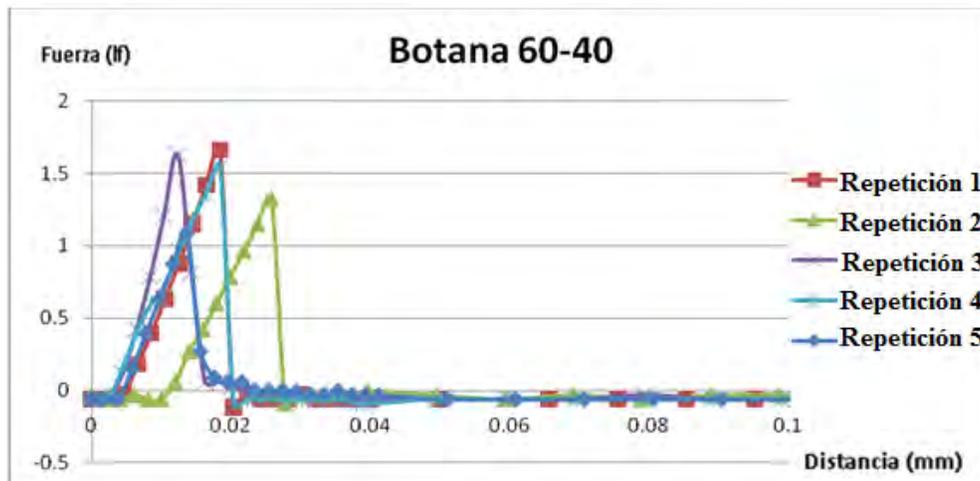


FIGURA 19. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churruto 60%HA y 40% HM.

Por último, en la figura 20 se muestran los resultados de los churrutos elaborados con 50%HA-50%HM, la cual presentó una gran homogeneidad entre sus repeticiones registrando un promedio de 1.28 lf como fuerza máxima.

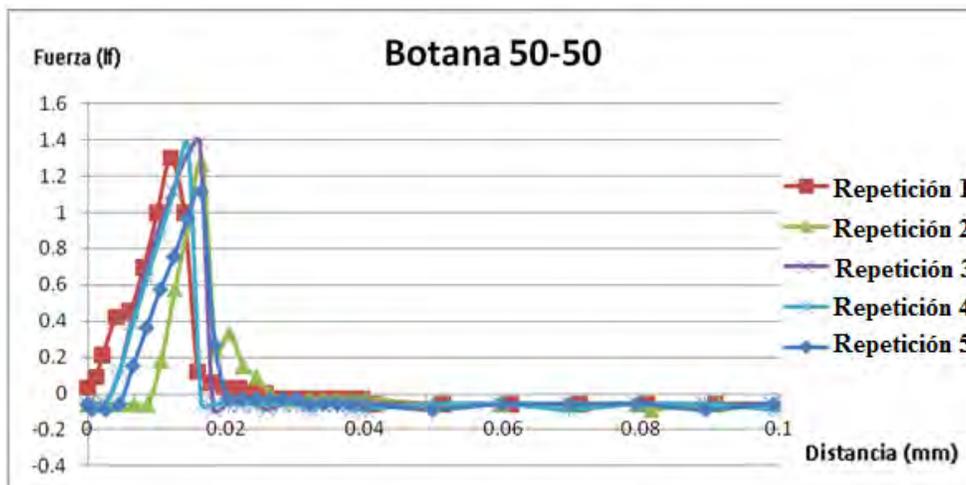


FIGURA 20. Evaluación del punto de fractura de una botana tipo churruto elaborada con 50%HA y 50% HM.

En la tabla 18 se comparan los datos de fuerza aplicada para la ruptura de los churrutos elaborados con las diferentes formulación propuesta. Se observó que la formulación 50:50 tiene una fuerza de ruptura estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) a las otras tres

formulaciones, entre las cuales no hay diferencia estadísticamente significativa. Lo que es evidente es que existe un incremento de la fuerza aplicada para la ruptura conforme aumenta la concentración de harina de amaranto. Aproximadamente existió un incremento de 0.19 lf por cada 10% de harina de amaranto. Esto se puede explicar en base a los componentes del amaranto, como son el almidón y las proteínas, los cuales al ser sometidos a altas temperaturas durante el horneado, se gelatiniza el almidón y con las proteínas forman una estructura más rígida (Fanelli, 2011).

Tabla 18. Comparación de la fuerza de ruptura de las distintas formulaciones evaluadas

FORMULACIONES	FUERZA (lf)
80:20	1.85 ^{a*}
70:30	1.63 ^a
60:40	1.44 ^a
50:50	1.28 ^b

*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Para el caso de los Churrumais la fuerza necesaria para romper el churruto fue menor en comparación con el resto de las muestras, esto puede ser debido a que es una botana elaborada 100% con harina de maíz, la cual tiene un menor contenido de proteínas que el amaranto. Esto es una característica importante según Fanelli (2011), la cual menciona que un factor que puede intervenir en el proceso de la gelatinización del almidón, durante el horneado, es el contenido proteico; en su estudio explica que a mayores concentraciones, existirá una mayor interacción iónica entre estos dos componentes (proteínas y almidón), contribuyendo de este modo a la formación de estructuras que dan mayor rigidez al producto final. El mayor contenido de proteína en el amaranto con respecto a la harina de maíz se comprobó al analizar las materias primas usadas en este trabajo (tabla 14).

Por otra parte, como se observó anteriormente la botana Quali y Nutrisa requirieron mayor fuerza de ruptura, superior a las botana de Maíz 100% (Churrumais), esto puede explicarse porque en su formulación reportan diversos cereales con mayores contenidos de proteína

que el maíz, dentro de los cuales incluyen al amaranto, lo que puede generar por la interacción proteína-almidón, una estructura más fuerte.

Si se compara la fuerza de ruptura de los productos comerciales con las formulaciones propuestas, podemos decir que la botana 80-20 no tiene diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con las marcas Quali y Nutrisa, las cuales reportan amaranto en su formulación, demostrando que la formulación propuesta en este estudio tiene las características que definen a una botana, es decir el grado de crujidez o “crunch” de un producto frito. Por lo tanto, con base en las pruebas de textura podría considerarse que la mejor formulación sería la 80:20 sin embargo es necesario realizar las pruebas restantes para así poder seleccionar la que presente mayor cantidad de atributos.

4.4 Evaluación sensorial

4.4.1 Prueba de preferencia

Se emplearon muestras de churritos de las cuatro formulaciones propuestas (Figura 16), para realizar una prueba sensorial de preferencia, para poder seleccionar la que más gustara al consumidor, y junto con las pruebas de textura poder seleccionar la mejor formulación (Figura 21). Esta prueba fue aplicada a 89 jueces no entrenados. En la tabla 18 se pueden observar los resultados para cada formulación; la puntuación obtenida por cada muestra son muy parecidas, y la única que presentó diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) fue la formulación con 70% de harina de amaranto, pero fue la que menos gusto (Anexo 2)



Figura 21. Prueba de Preferencia aplicada a jueces no entrenados.

El resto de las formulaciones son estadísticamente iguales, por lo tanto, se podría decir que gustaron igual, sin embargo, el número absoluto fue mayor para la formulación con 80% de amaranto. Además, tomando como criterio el número de jueces que asignó la puntuación

más alta a una formulación, la que más gusto fue la formulación con 80% de amaranto; que además, es la que contiene mayor cantidad de proteína lo que la hace más nutritiva debido a los aminoácidos esenciales presentes en el amaranto (Bressani, 1989). Estos resultados junto con los de textura en donde se observó que la formulación con 80 % HA fue el más crujiente de las tres que gustaron más, permitió seleccionar como la mejor formulación que contenía 80% de harina de amaranto y 20% harina de maíz.

Tabla 19. Resultados de la evaluación sensorial de preferencia aplicada a los churritos elaborados con las diferentes formulaciones

Formulación Botana tipo churrito (HA:HN) Δ	Puntuación	Número de jueces que asignaron la puntuación más elevada (4)
(50-50)	228 ^a	25
(60-40)	226 ^a	16
(70-30)	204 ^b	22
(80-20)	229^a	25

Δ : HA:HN – (Harina de amaranto : Harina Nixtamalizada). *Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$)

4.5 Composición química del producto terminado

En base a la prueba sensorial de preferencia y a las pruebas de textura se escogió la formulación con 80% de amaranto como la mejor, pero para confirmar esta decisión se analizó su composición química y se comparó con las otras dos formulaciones que fueron estadísticamente iguales ($P \leq 0.01$) en la prueba sensorial. Los resultados (tabla 20) mostraron que el porcentaje de proteína aumenta conforme aumenta el porcentaje de amaranto al igual que el contenido de fibra, minerales y grasa, y el contenido de carbohidratos disminuye y en todos los casos esta diferencia de la formulación 80:20 con las otras dos es estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Estos resultados indica que la formulación con mejor calidad nutrimental es la que contiene mayor cantidad de amaranto y confirma que esta formulación 80:20 es la mejor de las tres.

Tabla 20. Análisis químico proximal de los churritos

Componente	FORMULACIONES [H.A:H.N]		
	[50:50]	[60:40]	[80:20]
Humedad	1.81 ^{a*}	2.05 ^a	3.20^b
Proteínas	10.43 ^a	10.62 ^a	14.93^b
Lípidos	3.72 ^a	4.3 ^a	5.15^b
Cenizas	2.15 ^a	2.55 ^a	3.23^b
Fibra	6.75 ^a	6.79 ^a	7.36^b
Carbohidratos	75.14 ^a	73.69 ^a	66.13^b

*Diferentes letras entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Una vez confirmada la mejor formulación, se decidió comparar la composición química de este producto con algunas botanas comerciales, que reportan en su formulación harina de amaranto (marcas Quali y Nutrisa). También se comparó con churritos elaborados en el laboratorio únicamente con harina de maíz nixtamalizada (Churritos 100% harina de maíz) así como también se empleó una marca comercial (Churrumais), todo esto con la finalidad de observar si existían diferencias significativas entre sus componentes químicos. En la tabla 20 se pueden observar los resultados obtenidos de las distintas botanas evaluadas. Realizando una comparación entre la botana elaborada con la formulación 80:20 y las botanas de maíz (Churrumais y el control del laboratorio) podemos confirmar que el contenido de proteína evidentemente es mayor en la formulación 80:20 superando por un poco más del doble a las otras dos botanas, también el contenido de fibra y minerales es mayor. En el caso de los lípidos se observa que los Churrumais tienen un porcentaje seis veces mayor a la botana 80-20, esto se debe a que los Churrumais dentro de su proceso son sometidos a un freído, el cual confiere al producto un mayor porcentaje total de lípidos. En cuanto a los carbohidratos se muestra un mayor porcentaje en los Churrumais y en la botana control, comparados con la formulación 80-20, esto se debe a que el amaranto contiene menor cantidad de carbohidratos y al ser empleado en mayor concentración como materia prima en la formulación anterior, hace que presente un menor porcentaje. Es por ello que podemos decir que una botana complementada con amaranto, tiene mayor aporte

nutrimental que una elaborada únicamente con maíz. Por otro lado, se encuentran las botanas comerciales que contienen un porcentaje de amaranto como son Nutrisa y Quali, las cuales presentan casi la mitad de proteínas que la formulación 80-20, mientras que tienen un porcentaje de lípidos casi seis veces mayor que la botana 80-20, lo que indica que, igual que los Churrumais son botanas fritas, lo que las hace poco saludables porque aportan al producto final ácidos grasos saturados lo cual es desfavorable para la salud. También, la formulación escogida como la mejor tiene cuatro veces más de fibra que las comerciales, esto es bueno porque favorece la disminución del colesterol en la sangre y la limpieza del colon; evitando enfermedades cardiovasculares y cáncer de colono estreñimiento respectivamente.

Por lo tanto, se puede concluir que estas botanas comerciales poseen menor cantidad de nutrientes que la propuesta en este trabajo, la cual es de mejor calidad nutrimental. Es importante señalar que, aunque las etiquetas reportan que estas botanas contienen amaranto seguramente la cantidad de este grano es baja, por lo que no aumentan su valor nutrimental.

Tabla 21. Comparación entre los componentes

Componente	Formulación [80:20] ^a	Quali	Nutrisa	Churrumais	Churritos [100%H.N] ^b
Humedad	3.20	4.1	2.35	2.50	3.82
Proteínas	14.93^{a*}	8.25 ^b	7.55 ^b	6.97 ^b	6.96 ^b
Lípidos	5.15^a	32.9 ^b	28.15 ^b	30.96 ^b	3.53 ^a
Cenizas	3.23^a	0.5 ^b	0.79 ^b	N.R	1.27 ^b
Fibra	7.36^a	1.75 ^b	1.81 ^b	N.R	3.94 ^c
Carbohidratos	66.13^a	52.5 ^b	59.35 ^b	N.R	80.48 ^c

*Diferentes letras entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

^a Harina de amaranto y Harina de Maíz nixtamalizada [80:20] ^b Harina de maíz nixtamalizada 100% (Producto a nivel laboratorio). N.R. No se realizó la prueba

4.6 Perfil de aminoácidos

Inicialmente se realizó el planteamiento de que el amaranto, a diferencia de otros cereales como el maíz, presenta mayor porcentaje de proteína, lo cual se demostró experimentalmente mediante el análisis químico proximal; por otra parte, también se propone que la calidad biológica de esa proteína es mayor, es decir, que su contenido de aminoácidos esenciales es más completa y con mayor cantidad (Imeriet *al.*, 1987). Para probar esto, se determinó el perfil de aminoácidos de la formulación 80:20. (Tabla 22)

Tabla 22. Aminoácidos Esenciales de las botanas elaboradas con la mejor formulación comparadas con harina y botanas de maíz (g aminoácido/100g proteína).

Aminoácidos Esenciales	Botana 80:20	Harina de Maíz	Botana de Maíz
Valina	4.768 ^a	5.078 ^a	5.015 ^a
Leucina	7.28 ^a	12.76 ^b	12.17 ^b
Isoleucina	4.56 ^a	4.49 ^a	3.56 ^b
Fenilalanina	4.87 ^a	4.49 ^a	4.88 ^a
Metionina	2.68 ^a	1.89 ^b	2.08 ^b
Treonina	3.31 ^a	3.89 ^a	3.73 ^a
Lisina	4.14^a	2.83^b	2.80^b
Triptófano	1.05^a	0.59^b	0.69^b

Al comparar el perfil de aminoácidos de las botanas elaboradas con la mejor formulación de amaranto con harina y botanas de maíz se puede confirmar que efectivamente el amaranto es quien aporta en gran medida los aminoácidos esenciales, el cual al ser mezclado con harina de maíz nixtamalizada, la complementa mejorando el contenido de aminoácidos esenciales, superando por casi el doble a una botana tradicional elaborada únicamente con harina de maíz.

Haciendo mención sobre la importancia de estos aminoácidos esenciales se destacan los beneficios que se pueden obtener con el consumo de esta botana (80-20), como son por ejemplo la segregación de serotonina que es un neurotransmisor cerebral que ayuda a

controlar la ansiedad hacia los carbohidratos, lo cual puede beneficiar a personas que padecen obesidad, además se pueden funcionar como antidepresivos debido a la serotonina así como también está implicado en el crecimiento y en la producción hormonal, todo esto debido a que esta botana contiene triptófano.

Otro de los principales aminoácidos que se obtuvo en la botana es la Lisina, la cual es un compuesto limitante en las proteínas del maíz, además es uno de los más importantes porque, en asociación con varios aminoácidos más, interviene en diversas funciones, incluyendo el crecimiento, reparación de tejidos, anticuerpos del sistema inmunológico y síntesis de hormonas.

4.7 Prueba de nivel de agrado

Una vez que se determinó que la formulación escogida (80% harina de amaranto-20% harina de maíz), tuvo mejor calidad nutricional que las diferentes marcas comerciales con las que se comparó, se aplicó una prueba sensorial de nivel de agrado para determinar si era aceptada por el consumidor (figura 22). La prueba se aplicó a 100 jueces no entrenados y se obtuvo como resultado que el 75% de ellos aceptaron el producto y le otorgaron una calificación promedio de 7.1 (Ver Anexo 4), lo cual indica que el producto elaborado en el laboratorio si se comercializara podría ser aceptado por el consumidor.



Figura 22.Panel empleado para la prueba de nivel de agrado

Por lo tanto, se puede concluir que los componentes del amaranto son ideales para complementarlos con otro cereal. Que de las formulaciones evaluadas la mejor fue la que contenía 80% de amaranto y que esta botana tuvo una mejor calidad nutricional que una

tradicional elaborada solo con harina de maíz o con botanas comerciales que reportan tener amaranto en su formulación. Y por último, que la mejor formulación fue aceptada por el consumidor como lo indicó la prueba sensorial de nivel de agrado.

CONCLUSIONES

- ✚ Se demostró que la harina de amaranto contenía mayor porcentaje de proteínas, fibra, minerales y grasa que la harina nixtamalizada de maíz, por lo tanto, se podía emplear para mejorar la calidad nutrimental de las botanas propuestas en este proyecto.
- ✚ Las botanas tipo churrito se pudieron elaborar utilizando harina de amaranto hasta en un 80% de la formulación como máximo, con buenas características de textura y sensoriales. A pesar de que el porcentaje de grasa fue de 5.15% en comparación con los productos comerciales, que contienen el 30%, se obtuvo una aceptación hacia esta botana con un bajo contenido de grasa, inclinándose principalmente por el sabor residual que deja el producto, es decir un sabor a amaranto tostado. Demostrando que no siempre el factor principal es el sabor de las grasas.
- ✚ De las diferentes formulaciones (amaranto-maíz) propuestas para la elaboración de botanas tipo churritos la mejor fue la que contenía 80% de harina de amaranto y 20% de harina nixtamalizada de maíz, de acuerdo a las pruebas de textura y sensoriales que se les realizaron a las diferentes botanas
- ✚ Se demostró que la botana elaborada con la formulación 80:20 amaranto:maíz que se escogió como la mejor en este trabajo, sí tuvo una mayor calidad nutrimental que las botanas elaboradas solo con maíz (laboratorio y churrumais) e incluso de algunas botanas comerciales que en sus formulaciones incluyen amaranto (Quali y Nutrisa). Ya que en su composición química tuvo mayor contenido de carbohidratos, proteínas, fibra, minerales y un bajo contenido de grasa ya que todas las botanas comerciales evaluadas son freídas con aceite. Además, el perfil de aminoácidos de la botana 80-20 mostró que su proteína contenía todos los aminoácidos esenciales en cantidades mayores a las recomendadas por la FAO para consumo diario y en especial lisina y triptófano que son limitantes en el maíz. De las cuales a través de un PER se puede demostrar su biodisponibilidad como el caso mostrado con pruebas de harinas de trigo, maíz y amaranto.
- ✚ Por último, se observó que la botana tipo churrito elaborada con 80% de amaranto y 20% de harina nixtamalizada tuvo un 75% de aceptación de parte del consumidor, donde el resto del público en general comento que el sabor de la botana es intenso y que les gustaría probarla con un sabor a chile por ejemplo. Indicando que puede ser aceptada por un mayor porcentaje de la población, realizando algunos ajustes en cuanto a sabor, factores que benefician la aceptación, aunado al objetivo principal,

que es el de combatir los problemas de obesidad que aquejan a la población de nuestro país, a través de un buen balance de nutrientes.

ANEXO 1

PRUEBA DE PREFERENCIA

Churritos.

Edad: _____

Sexo: H M

Fecha:

Instrucciones: pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 4, considerando que 1 es la que menos le gusta y 4 es la que más le gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique el porqué de su decisión.

MUESTRAS	820	730	640	550
VALOR	_____	_____	_____	_____

¿Por qué?

¿Qué tipo de sabor te gustaría probar en los churritos de acuerdo a las siguientes opciones?

A) Salados B) Enchilados C) Dulces D) Con limón

¡GRACIAS!

Codificación de las muestras

MUESTRA	CLAVE
H.Amaranto:H.Nixtamalizada [80:20]	820
H.Amaranto:H.Nixtamalizada [70:30]	730
H.Amaranto:H.Nixtamalizada [60:40]	640
H.Amaranto:H.Nixtamalizada [50:50]	550

ANEXO 2 Resultados Prueba de preferencia

Juez (n)	820	730	640	550
1	4	3	2	1
2	3	1	4	2
3	4	1	2	3
4	3	4	1	2
5	1	3	4	2
6	3	4	2	1
7	2	3	1	4
8	4	2	3	1
9	4	3	1	2
10	4	2	1	3
11	3	1	4	2
12	4	2	3	1
13	1	3	4	2
14	4	1	3	2
15	4	3	1	2
16	2	3	4	1
17	1	2	4	3
18	1	2	3	4
19	3	1	2	4
20	1	2	4	3
21	3	1	2	4
22	2	4	3	1
23	1	3	2	4
24	2	4	1	3
25	3	1	2	4
26	1	3	2	4
27	4	2	3	1
28	3	1	4	2
29	1	3	2	4
30	4	3	2	1
31	1	3	2	4
32	4	1	2	3
33	3	1	4	2
34	2	4	3	1
35	2	1	4	3
36	2	4	3	1
37	3	1	2	4
38	3	4	1	2
39	1	3	4	2

Juez (n)	820	730	640	550
40	2	3	4	1
41	4	2	1	3
42	1	2	3	4
43	4	1	3	2
44	3	4	1	2
45	1	2	3	4
46	4	1	3	2
47	2	3	1	4
48	2	1	4	3
49	4	2	3	1
50	4	2	1	3
51	2	3	4	1
52	3	1	2	4
53	1	3	4	2
54	2	1	4	3
55	1	2	3	4
56	2	1	4	3
57	2	1	3	4
58	1	3	4	2
59	4	1	3	2
60	3	1	4	2
61	4	1	3	2
62	3	2	1	4
63	3	1	2	4
64	1	2	4	3
65	1	2	3	4
66	1	4	2	3
67	4	3	1	2
68	1	2	3	4
69	3	4	2	1
70	4	3	2	1
71	1	4	3	2
72	3	1	2	4
73	3	2	4	1
74	2	1	4	3
75	1	2	2	3
76	1	4	3	2
77	4	3	1	2
78	1	4	2	3

Juez (n)	820	730	640	550
79	3	2	1	4
80	4	4	3	2
81	3	1	2	4
82	3	2	1	4
83	3	2	1	1
84	4	1	3	2
85	2	3	1	4
86	3	4	1	2
87	4	1	2	2
88	4	2	3	1
89	2	4	1	3
Puntuación	229	204	226	228

ANEXO 3

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO

CHURRITOS.

EDAD: _____

SEXO: M F

FECHA: _____

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

ESCALA

DISGUSTA

ES

GUSTA

MUCHO

INDIFERENTE

MUCHO

¿POR QUÉ?

_____ ***¡GRACIAS!***

ANEXO 4 Resultado prueba de nivel de agrado

Juez (n)	Calificación
1	10
2	10
3	10
4	10
5	10
6	10
7	9.3
8	9.2
9	9.1
10	9
11	9
12	9
13	8.9
14	8.9
15	8.8
16	8.7
17	8.7
18	8.7
19	8.6
20	8.6
21	8.5
22	8.5
23	8.4
24	8.3
25	8.2
26	8.2
27	8.1
28	8.1
29	8.1
30	8.1
31	8.1
32	8
33	7.9
34	7.9
35	7.8
36	7.8
37	7.8
38	7.7
39	7.6

40	7.6
41	7.5
42	7.5
43	7.4
44	7.4
45	7.4
46	7.3
47	7.3
48	7.3
49	7.3
50	7.2
51	7.2
52	7.2
53	7.2
54	7.2
55	7.1
56	7.1
57	7.1
58	7.1
59	7
60	6.8
61	6.8
62	6.7
63	6.7
64	6.6
65	6.5
66	6.5
67	6.4
68	6.1
69	6.1
70	6.1
71	6.1
72	6
73	6
74	6
75	6
76	5.8
77	5.8
78	5.6

79	5.5
80	5.5
81	5.5
82	5.3
83	5.3
84	5.2
85	5
86	5
87	5
88	5
89	5
90	5
91	5
92	5
93	5
94	5
95	4.7
96	4.5
97	4.4
98	4
99	4
100	1.9
Σ	707.4
X	<u>7.074</u>

% De Aceptación 75

REFERENCIAS

1. A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunniff, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
2. Arrizon-Lopéz, V., Slocum, R., Lee, P. 1987. Expanded protein hydrolyzate analysis, Sistem 6300/7300. Application Notes No. A630-AN-007., Palo Alto, California: Spinco Division of Beckman Instruments Inc.
3. Bazua, C.D., Guerra, R., Sterner, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to time heated corn flour for tortilla preparation. *Journal of food science*, 44:940-942.
4. Becerra Rosalba. 2000. El amaranto. *Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el conocimiento de la Biodiversidad*. 5(30): 1-6.
5. 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.
6. Borja. 1997. El maíz. Lucas Morea. México.
7. Bourne. M. C. 1982. Food texture and viscosity: Concept and measurement. Academic Press. USA.
8. Brenner, D. 1990. Seed shattering control with indehiscent utricles in grain amaranths. *Legacy*. 3 (1): 2-3.
9. Bressani, R. 1989. The proteins of grain Amaranth. *Food Revs Int*. 5:13-38.
10. Bressani, R. 1990. Grain Amaranth. Its chemical composition and nutritive value. Minnesota extension service. University of Minnesota Agriculture: Amaranth Perspectives on production, processing and marketing. 1:19-34.
11. Bressani, R. 1994. Composition and Nutritional Properties of Amaranth. *Amaranth Biology, Chemistry and Technology*. CRC Press.
12. Bressani, R, A Sánchez - Marroquín & E, Morales. 1992. Chemical composition of grain Amaranth cultivars and effects of processing on their nutritional quality. *Food Revs. Intal*. 1:23-49.

13. Bressani, R. 1971. Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. En N.S. Schrimshaw y A.M. Altschul, eds. Amino acid fortification of protein foods,, p. 184-204. Cambridge, Mass., EE.UU., MIT Press
14. Broughton K.S., Johnson C.S., *et al.* 1997. Reduce asthma symptoms with n-3 fatty acid ingestion are related to 5 series Leukotrienes production. *Am. J. Clin. Nutr.* 65:1011.
15. Cabrera Arriaga Claudia Alejandra, 2007. Desarrollo de una formulación de pasta para sopa tipo tallarín a base de amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental.
16. Casas, N. B., Ramírez, M. E. 2001. Apuntes del seminario de titulación: Reología y textura de materiales biológicos. Modulo III Textura de alimentos. UNAM. Edo. México.
17. Casillas G. F. 1986. Importancia de la semilla. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México 289-299. Citado por Mujica *et al* 1997.
18. Charley, H. Preparación de los alimentos. 1990. Ed. Limusa S.A., México.
19. Chávez, A. Madrigal H., y Rios, E. Guías de alimentación. 1993. INNSZ.
20. De Man , J. M., P. W. Voisey, V. F., Rastper., Stanley, D. W. 1975. Rheology and texture in foodquality. Ed. Avi. Conn.
21. 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.
22. 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.
23. FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Depósito de documentos de FAO.
24. FAO/OMS/UNU. 1985. Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie Informes técnicos N° 724.
25. FAO, Cultivos Andinos, (s.f.). Disponible en:
[<http://www.rlc.fao.org>] Fecha de consulta: 01- enero – 2012
26. Farfan, B; Gallegos, R; González, M. 1993. Manual de dietas normales y terapéuticas, UAM Xochimilco, 1:48-52.

27. Gallant DJ, Bouchet PM. 1997. Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers* 32: 177-191
28. García, B. V. 2010. Amaranto: Una alternativa de alimento para personas de edad avanzada, Tesis licenciatura, UNAM, México DF. 1:40-87.
29. Gómez, M.H., Rooney, L.W. Waniska, R.W., Pflugfelder, R.L. 1987. Dry corn masa for tortilla and snack food production. *Foods world*, 32: 372-374.
30. Hart, E.R., 1985. Cereal processing. US patent, 4: 555:4098
31. Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nutr.* 16: 3 1 5320
32. Imeri, Ana; Flores Rafael; Elias, Luis G. Bressani, Ricardo. Efecto del procesamiento y de la suplementación con aminoácidos sobre la calidad proteínica del amaranto. 1987. *archivos Latinoamericanos de nutrición*. Vol. 37 No. 1 p. 161-173. Marzo.
33. Irving, D.W., Betschart A.A. y Saunders R.M. 1981. Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. *Journal Food Science*. 46: 1170-1173.
34. Kilcast, D., 2004. *Textura in food: volume 2: Solid food*. Woodhead Publishing. England.
35. Kinsella J. E., Lokesh B. and Stone R. A. 1998. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease. Possible Mechanisms. *Am. J. Clin. Nutr.* 52.
36. Kritchevsky D. and Bonfield. 1998. Dietary Fiber in Health and Disease. Book review in *Am. J. Clin. Nutr.* 69:1308.
37. Mahan, k y Arlin, M. Krause, 1995. *Nutrición y Dietoterapia*. Cap. 14. Podrabsky *Nutrición en el envejecimiento*. Mc Graw Hill-Interamericana 8ª edición.
38. Malca, Oscar G. *et al.* 2001. Fideos imperial enriquecidos con kiwicha. Seminario Agro Negocios. Universidad del pacifico. Facultad de administración y contabilidad.
39. Mangelsdorf, P.C., Reeves, R.G. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agric. Exp. Sta. Bull.* 574, p. 1-315.

40. Méndez Blanco, El universal (2010). Disponible en:
[<http://www.eluniversal.com.mx/cultura/63568.html>]
Fecha de consulta: 01- enero – 2012
41. 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.
42. Munguía, P.M. 2010. Influencia del deterioro del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) provocado por un mal almacenamiento sobre su calidad nutrimental, Tesis licenciatura, UNAM, Edo. De México, Pág 54-57.
43. Nieto, C. 1990. El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea N°52. Quito, Ecuador.
44. Oostergetel y Bruggen (Oostergetel OGT, Van Bruggen EFJ. 1993. The crystalline domains in potato starch granules are arranged in a helical fashion. Carbohydrate Polymers, 21, 7-12) incluyeron un concepto denominado cadena lateral que supone un nivel de organización más complejo. Gallant y col.
45. 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.
46. Paredes-López O. 1999. Amaranth biology, chemistry and technology. Ed. CRC Press. 2da Edición USA.
47. Paredes L.O. 2001. De ofrenda de los Dioses a cultivo olvidado, Alimentos mesoamericanos: el amaranto.
48. Parra G.C. 2006. Textura de frituras elaboradas con harina de maíz o de harina de trigo con diferentes proporciones de harina de frijol. Tesis de Licenciatura. UNAM, Edo. De México.
49. Pedrero F. Daniel L. y Pangbord Rose Marie. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Analíticos. Ed. Alambra Mexicana , S.A. de C.V. Primera Edición.

50. Pérez, N.C., Cruz, E.R., Guerrero, L.C., Betancur, D.A., 2006 Caracterización física de extruidos preparados con mezclas de maíz (QPM) (*Zea mais L.*) y frijol (*PhaseolusLunatus L.*) Rev. Mex. de Ing. Quím. México. Vol. 73, No.7. 155 pp.
51. 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.
52. Reyes P. Muñoz H. 1997. Cadenas de productos agrícolas básicos en México. CIDE.
53. Ridout MJ, Parker ML, Hedley CL, Bogracheva TY, Morris VJ. 2004. Atomic force microscopy of pea starch: origins of image contrast. *Biomacromolecules* 5:1519-1527
54. Rodríguez Ruth. (2010), México supera a EU en obesidad. El Universal. Disponible en :
[<http://www.eluniversal.com.mx/primera/35586.html>]
Fecha de consulta: 13- Febrero – 2012
55. Rosenthal, A. J. 2001. “Textura de los alimentos: medida y percepción”. Acribia. España.
56. Sánchez-Marroquín, A. 1980. Potencialidad Agroindustrial del amaranto. Ed. Centro de Estudios Económicos de Tercer Mundo. México, D.F.
57. Santin, H.C. y Lazcano S.M. 1986. Pasado, presente y futuro del amaranto. *FAO.Cuadernos de nutrición.* 9 (1): 17-32
58. Sauer, J.D.1976. The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of Missouri Botanical Garden.* 54:103-137.
59. Silva Sánchez Cecilia, 2007. Caracterización fisicoquímica y nutraceutica de amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosi.
60. Singhal, R & P, Kulkarui. 1988. Composition of the seeds of some *Amaranthus* species. *J Sci Food Agric.* 42:325-331.
61. Smith AM. 2001. The biosynthesis of starch granules. *Biomacromoleculas* 2:335-341.

62. Teutónico, R. y Knorr, D. 1985, Amaranth composition, properties and applications of a rediscovered Food Crop. *FoodTechnology*. Institute of FoodTechnology. 39 (4): 49-61.
63. Trujillo, T.R. 1986. Requerimientos climáticos para el cultivo de amaranto en México. *El Amaranto Amaranthus spp. (Alegria) su cultivo y aprovechamiento*. Primer seminario nacional del amaranto. Chilpancingo, México.
64. Vargas L.J. 2003. Amaranth: Cultivo de los aztecas prohibido por los conquistadores Españoles. *Revistahorizontes*. Vol. 2003.
65. Watson, S., Ramstad, P. 1991. "Structure and composition.corn: chemistry and technology. American association of cereal chemist". USA.
66. Watson.1988. Corn marketing, processing, and utilization. Madison, WI, USA.
67. Wolf, M.J., Khoo, V. y Seckinger, H.L. 1969. Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. *Cereal Chem.*, 46: 253-263.
68. Wolf, M.J., Buzan, C.L., MacMasters, M.M. y Rist, C.E.1952. Structure of the mature corn kernel. *Cereal Chem.* 29: 321-382.
69. Yañez E. Zacarías I. Granger D. *et al.* 1994. Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*) *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 44-1.