

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

**PROGRAMA DE POSGRADO DEL CENTRO DE LA
REPÚBLICA (PROPAC)**

**Composición química, características de
calidad y actividad antioxidante de pasta
enriquecida con harina de amaranto y hoja de
amaranto deshidratada**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS**

Presenta:

I.I.A. Alexandra del Socorro Cárdenas Hernández

Dirigido por:

Dra. Sandra O. Mendoza Díaz

Santiago de Querétaro, Qro. México. Noviembre 2012



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
PROPAC

**Composición química, características de calidad y actividad
antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de
amaranto deshidratada**

TESIS

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I.I.A. Alexandra del Socorro Cárdenas Hernández

Dirigido por:

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz

SINODALES

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz
Presidente

Firma

Dra. Trust Beta
Secretario

Firma

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Vocal

Firma

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Suplente

Firma

Mtro. Jorge Octavio Nieto Barrera
Suplente

Firma

M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre 2012
MÉXICO

RESUMEN

El amaranto es un cultivo mexicano ancestral con alto valor nutricional y un importante potencial nutraceutico. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial de la harina de amaranto y la hoja de amaranto deshidratada como ingredientes funcionales para la elaboraci3n de pastas y sus efectos en la composici3n quimica, aceptaci3n del consumidor y actividad antioxidante. A trav3s de un dise1o estadistico experimental para mezclas, con proporciones variables de harina de amaranto, s3mola de trigo, hoja de amaranto deshidratada, huevo y carboximetilcelulosa, se produjeron diversas formulaciones de pastas cortas extruidas y deshidratadas. Se evalu3 el tiempo de cocci3n, p3rdidas por cocci3n, peso despu3s de la cocci3n y color como atributos de calidad de las pastas producidas. El an3lisis estadistico mostr3 que formulaciones con altas concentraciones de harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada produce menores tiempos de cocci3n y mayores p3rdidas por cocci3n en comparaci3n con la formulaci3n control; se detectaron efectos significativos de las interacciones dobles de los ingredientes de las pastas sobre los atributos de color (L^* , a^* , b^*). Siete formulaciones de pastas que mostraron caracteristicas de calidad aceptables fueron seleccionadas para la determinaci3n de su composici3n quimica, capacidad antioxidante (ORAC, FRAP, DPPH y determinaci3n de fenoles totales), y evaluaci3n sensorial a trav3s de una prueba de clasificaci3n. Los an3lisis bromatol3gicos revelaron que las pastas con ingredientes de amaranto contienen mayores porcentajes de prote3na (3.91%), grasa (3.08%), fibra cruda (3.42%) y cenizas (1.92%) con respecto a la formulaci3n control. Todas las formulaciones de pasta con amaranto mostraron mayores valores de ORAC (87 μmol Equivalentes de Trolox (ET)/g), FRAP (48 μM EFeSO₄/g), DPPH (30 μmol ET/g) y contenido de compuestos fen3licos (2629 μg equivalentes de 3cido fer3lico (EAF)/g) que la f3rmula control de s3mola de trigo (48 μmol ET/g, 8 μM EFeSO₄/g, 26 μmol ET/g y 953 μg equivalentes de 3cido fer3lico (EAF)/g). La evaluaci3n sensorial mostr3 una clara preferencia del consumidor por la formulaci3n con el menor porcentaje de harina de amaranto y hoja de amaranto, al encontrar una nota amarga debido a la hoja de amaranto, as3 como un sabor herbal de la hoja. Este trabajo muestra la factibilidad tecnologica, nutricional y funcional del uso de los ingredientes de amaranto para la formulaci3n de alimentos procesados como las pastas extruidas.

Palabras clave: amaranto, pastas, dise1o experimental en mezclas, pruebas de calidad, capacidad antioxidante.

SUMMARY

Amaranth is a Mexican ancient crop with high nutritional value and significant nutraceutical potential. The present investigation aimed to evaluate the effects of amaranth leaves and seed flour as ingredients for pasta production and their contribution to chemical composition, antioxidant activity and consumer acceptance. An experimental design was conducted with variable concentrations of semolina, amaranth seed flour, dried amaranth leaves, egg and carboxymethylcellulose (CMC). Tests were run to determine cooking time, cooking loss, cooking weight and color as pasta quality parameters. The results demonstrated that pasta with high concentration of amaranth flour and amaranth leaves in combination with low concentration of semolina had decreased cooking time and increased cooking loss in contrast with control formulation. There was a significant effect of ingredients double interactions on color attributes (L^* , a^* , b^*). Seven pasta formulations were selected for evaluation of their chemical composition, antioxidant capacity (ORAC, FRAP, DPPH and Total Phenolic Content), and sensory evaluation, with a ranking test, as they showed acceptable cooking quality characteristics. Proximate analysis revealed that pastas with amaranth ingredients contain higher amounts of protein (3.91%), fat (3.08%), crude fiber (3.42%) and ashes (1.92%) than control formulation. All amaranth pasta formulations showed higher values of ORAC (87 $\mu\text{mol Trolox Equivalent (TE)/g}$), FRAP (48 $\mu\text{M FeSO}_4\text{E/g}$), DPPH (30 $\mu\text{mol TE/g}$), and phenolic content (2629 $\mu\text{g ferulic acid equivalent (FAE)/g}$) than control semolina formulation (48 $\mu\text{mol TE/g}$, 8 $\mu\text{M FeSO}_4\text{E/g}$, 26 $\mu\text{mol TE/g}$ y 953 $\mu\text{g FAE /g}$). Sensory evaluation showed that consumer prefers pastas with lowest percentages of amaranth flour and dried amaranth leaves, since bitter and herbal flavor notes were found in the pastas. This work demonstrate technological, nutritional and functional feasibility in the use of amaranth ingredients for the formulation of processed food as extruded pastas.

Key words: amaranth, pastas, mixture experimental design, quality analysis, antioxidant capacity.

***A mi familia, amigos y a Rubén con
todo mi amor y cariño; y muy
especialmente a mi abuelita María,
mi ángel de la guarda.***

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República, de la Universidad Autónoma de Querétaro, por su trabajo y colaboración para la realización de este proyecto de Tesis de Maestría. Gracias a la Dra. Sandra Mendoza por su apoyo incondicional y su enorme disposición de enseñar y al mismo tiempo de aprender. A mis sinodales, cuyos comentarios y observaciones, enriquecieron mi trabajo y desempeño como estudiante. A mis profesores que verdaderamente contribuyeron en mi formación profesional y personal. A Carmelita y Laurita por su ayuda y por su siempre buena disposición para ayudar. A mis compañeros de laboratorio cuyos consejos, apoyo y amistad fueron fundamentales en mi trabajo experimental. Gracias Carlos, Betty, Héctor, Raquel, Alma, Fanny y Tania. Al CONACyT por la beca otorgada para cursar este posgrado. A la Dra. Trust Beta por confiar en mí y recibirme en la Universidad de Manitoba en Canadá, sin duda una de las experiencias de vida más enriquecedoras que he tenido.

A todo el equipo de trabajo del Instituto Gastronómico de Estudios Superiores, IGES, gracias por permitirme alcanzar esta meta profesional y personal, porque siempre estuvieron al pendiente de mi progreso. Gracias Oli, de todo corazón por creer en mí. A mis compañeros de trabajo y amigos Claudia, Gaby, Lenin, María Elva, Alfredo y Verito.

A mi familia y amigos por su apoyo durante todo este proceso, por entender todos esos momentos cuando no puede estar ahí, por sus palabras de aliento, por escucharme en los momentos de frustración y por contribuir a ser la persona quien soy. Gracias papá, por impulsarme a ser mejor siempre; mamá, por tu amor incondicional y tu comida siempre reconfortante, Marco y Roxana, por su amor de hermanos, gracias Yolis, Karina, Rafa y Eleazar por ser los mejores primos hermanos del mundo, a mi tía Mela por su ternura y cariño. A mi prima María, por recibirme en Chicago y hacerme sentir como si estuviera en México. A mis amigos Ana Gloria, Claudia, Laura, Mario y Eduardo, su amistad es una gran bendición.

Y finalmente a Rubén Zárraga, gracias amor por ser la persona que siempre había soñado, por estar a mi lado, escuchándome, orientándome, enseñándome tantas cosas, y haciéndome un mejor ser humano, te amo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
II.1 El amaranto	2
II.1.1 La semilla de amaranto	2
II.1.2 La hoja de amaranto	5
II.1.3 Usos y aplicaciones del amaranto en productos alimenticios	7
II.2 La Pasta	10
II.2.1 Elaboración de pasta	11
II.2.1.1 Ingredientes	11
II.2.1.2 Proceso de elaboración	11
II.2.2 Importancia de la pasta como alimentos y su valor nutritivo	14
II.2.3 Pasta con ingredientes no convencionales	16
II.3 Alimentos funcionales	19
II.3.1 Definición de alimentos funcionales	19
II.3.2 Mercado de alimentos funcionales	20
II.3.3 Factores de éxito y crecimiento de alimentos funcionales	23
II.3.4 Alimentos funcionales en países en desarrollo	24
II.3.4.1 Alimentos funcionales en México	25
II.3.5 El amaranto como ingredientes funcional en México	26
III. HIPÓTESIS	27
IV. OBJETIVOS	28
IV. Objetivo general	28
IV. Objetivos particulares	28
V. METODOLOGÍA	29
V.1 Materiales	29
V.2 Diseño experimental	29
V.3. Métodos	30
V.3.1 Producción de pastas	30
V.3.2 Evaluación de calidad de pastas	31
V.3.2.1 Tiempo de cocción	31
V.3.2.2 Pérdidas por cocción	31
V.3.2.3 Peso después de la cocción	32
V.3.2.4 Análisis de color	32

V.3.3 Composición química de las pastas	32
V.3.3.1 Humedad	32
V.3.3.2 Cenizas	32
V.3.3.3 Grasa	33
V.3.3.4 Proteína	33
V.3.3.5 Fibra cruda	34
V.3.3.5 Determinación de minerales por espectrofotometría de absorción atómica	35
V.3.4 Determinación de capacidad antioxidante	36
V.3.4.1 Proceso de extracción	36
V.3.4.2 Determinación de fenoles totales	36
V.3.4.3 Ensayo DPPH	37
V.3.4.4 Ensayo FRAP	37
V.3.4.5 Ensayo ORAC	38
V.3.5 Evaluación Sensorial	39
V.3.5.1 Metodología para la prueba de evaluación sensorial	40
V.3.6 Análisis Estadístico	42
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
VI.1 Pruebas de calidad de las pastas	43
VI.1.1 Tiempo de cocción	43
VI.1.2 Pérdidas por cocción	46
VI.1.3 Peso después de la cocción	46
VI.1.4 Análisis de color	47
VI.1.5 Selección de fórmulas de pastas	52
VI.2 Composición química	53
VI.3 Capacidad antioxidante <i>in vitro</i>	55
VI.3.1 Fenoles totales	55
VI.3.2 DPPH	57
VI.3.3 FRAP	58
VI.3.4 ORAC	60
VI.4 Evaluación sensorial	62
VII. CONCLUSIONES	65
IX. BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Índice glicémico para diversos alimentos	15
2	Consumo nacional estimado de pasta	16
3	Compañías multinacionales productoras de alimentos funcionales	21
4	Marcas de productos funcionales en los Estados Unidos por tipo de producto funcional y compañía	22
5	Diseño experimental en mezclas para formulaciones de pastas enriquecidas con amaranto	30
6	Grupos de pastas para evaluación sensorial	40
7	Calidad de pastas enriquecidas con amaranto	45
8	Color de pastas enriquecidas con amaranto	48
9	Fórmulas de amaranto seleccionadas	52
10	Análisis bromatológicos de pastas con amaranto (base húmeda)	53
11	Contenido de minerales en pastas de amaranto en mg/kg de producto	54
12	Fenoles totales de pasta cocida y cruda	56
13	Valores de DPPH de pastas de amaranto crudas y cocidas	57
14	Valores de FRAP de pastas de amaranto crudas y cocidas	59
15	Valores de ORAC de pastas de amaranto crudas y cocidas	60
16	Evaluación atributos sensoriales pastas con harina de amaranto	63
17	Evaluación atributos sensoriales pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Variedades de la planta de amaranto	3
2	Productos alimenticios a base de amaranto	9
3	Equipo extrusor para pastas	13
4	Formato evaluación sensorial afectiva	41
5	Curvas de nivel del efecto de la harina de amaranto y la sémola de trigo en el tiempo de cocción de las pastas	44
6	Curvas de nivel del efecto de la hoja de amaranto y la sémola de trigo en el tiempo de cocción de las pastas.	44
7	Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores de L* de pastas con amaranto.	48
8	Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores de L* de pastas con amaranto	49
9	Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores L* de pastas con amaranto	49
10	Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores a* de pastas con amaranto	50
11	Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores a* de pastas con amaranto	50
12	Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores a* de pastas con amaranto	50
13	Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores b* de pastas con amaranto	51
14	Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores b* de pastas con amaranto	51
15	Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores b* de pastas con amaranto	52
16	Fenoles totales, expresados en equivalentes de ácido ferúlico por gramo (μg EAF/g), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada	56
17	DPPH, expresado en μmol equivalentes de Trolox por gramo (μmol ET/g), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada	58
18	Valores de FRAP, expresados en μM EFeSO ₄ /g, de pastas con harina y hoja de amaranto, cruda y cocida	59
19	ORAC, expresado en μmol equivalentes de Trolox por gramo (μmol ET/g), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada	61

I. INTRODUCCIÓN

De unas décadas a la fecha se ha incrementado considerablemente la promoción del cultivo, uso y consumo de productos alimenticios de origen prehispánico como el amaranto, cuyas propiedades nutricionales y funcionales han sido objeto de múltiples investigaciones alrededor del mundo y que han concluido en la producción y comercialización de alimentos funcionales a base de este seudocereal en países como Canadá, España, Australia, entre otros. Se han desarrollado botanas, galletas, cereales para el desayuno, productos de panificación y pastas. Desafortunadamente esta realidad no ha permeado en nuestro país, y pocos o nulos son los productos de amaranto que se ofrecen en el mercado nacional, a excepción de las alegrías, dulces típicos mexicanos, y algunas granolas o barras nutritivas, restringiendo el consumo de este alimento entre la población. Así mismo, al no haber una demanda de productos con amaranto, por parte de la industria alimentaria, la producción agrícola también es limitada. Por lo anterior, es necesario el desarrollo de nuevos productos con valor agregado que incluyan el amaranto, no sólo como grano, sino también como vegetal. Se considera que las pastas son un producto adecuado para promover los beneficios nutricionales y funcionales del amaranto, porque es un producto muy aceptado y consumido por el grueso de la población en México, versátil y de fácil almacenamiento. Con el desarrollo de este producto, se amplía el abanico de posibilidades de alimentos funcionales de nuestro país, que también está bastante restringido en comparación con otros mercados.

En México existe una necesidad imperiosa de fomentar una adecuada alimentación como sistema preventivo de enfermedades crónico degenerativas que tanto han mermado en el bienestar de nuestra población. A través de productos como las pastas fortificadas con harina y hoja de amaranto se puede contribuir a este objetivo.

II. ANTECEDENTES

II.1 El amaranto

El amaranto es una planta del género *Amaranthus* que pertenece a la familia *Amaranthaceae*, la cual incluye más de 60 especies diferentes (Kaur y col., 2010). El amaranto es un alimento ancestral de la cultura mexicana, formaba parte fundamental de la dieta de las culturas azteca y maya. Su consumo y producción se vieron disminuidas drásticamente, después de la Conquista de los españoles y hasta antes de 1890, debido a que fue prohibido por su relación con las celebraciones religiosas paganas de las culturas prehispánicas (Paredes-López, 1994). Hoy en día, el amaranto está ganando aceptación y está siendo revalorado gracias a su valor nutricional, potencial nutraceutico y a la necesidad de fuentes alternativas de alimentación. Su cultivo se extiende por diferentes países de Latinoamérica, incluyendo México, Guatemala, Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina (Borneo y Aguirre, 2008), así como en diferentes países de África y Asia. Es un cultivo versátil, ya que puede crecer en un amplio intervalo de climas, suelos y sistemas de cultivo, además de ser resistente a sequías y plagas (Yawadio y col., 2008). Una de las principales ventajas de esta planta es la posibilidad de aprovechar tanto la semilla de amaranto como las hojas, ambos de alto valor nutricional, además del uso como planta ornamental, gracias a sus atractivas coloraciones (Kaur y col., 2010).

II.1.1 La semilla de amaranto

Desde la perspectiva botánica, el amaranto no puede considerarse un cereal, ya que es una planta dicotiledónea a diferencia de cereales como el trigo, arroz o maíz, que son plantas monocotiledóneas, es por ello que suele emplearse el término pseudocereal para referirnos al hecho de que sus semillas se parecen en función y composición a las de los verdaderos cereales (Alvarez-Jubete y col., 2010). De la amplia diversidad de especies de amaranto, se han identificado algunas con mayor potencial de explotación para la obtención de granos, siendo las más cultivadas

Amaranthus caudatus, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*, siendo ésta última la especie más cultivada en México (Figura 1) (Borneo y Aguirre, 2008). Las semillas de amaranto son pequeñas (1 – 1.5 mm de diámetro) de forma lenticular y de peso por semilla de 0.6 – 1.3 mg (Alvarez-Jubete y col., 2010).



Fig. 1. Variedades de la planta de amaranto. a) *Amaranthus caudatus*, b) *Amaranthus cruentus*, c) *Amaranthus hypochondriacus* (Robert W. Freckmann Herbarium, 2011)

La semilla de amaranto ha capturado la atención de investigadores y productores de alimentos debido a su contenido de nutrientes, donde destaca en primera instancia el alto contenido de proteína (12–18%) rica en lisina y con niveles aceptables de triptófano y metionina, que generalmente se encuentran en bajas concentraciones en cereales y leguminosas de consumo cotidiano. Además cabe destacar que la biodisponibilidad de la proteína de este pseudocereal es alta en comparación con cereales comunes y cercano a los valores de proteínas animales (Kaur y col., 2010). También es importante el contenido de lípidos que es dos a tres veces más alto que en otros pseudocereales como el trigo sarraceno y otros cereales. El aceite de amaranto se caracteriza por el alto grado de insaturación, deseable desde el punto de vista nutricional, siendo el ácido linoleico el más abundante (50%), seguido del ácido oleico (25%) y ácido palmítico (Alvarez-Jubete y col., 2010). Existen reportes que ponen de manifiesto la estabilidad de los lípidos del amaranto, a pesar del alto contenido de insaturación de sus ácidos grasos, lo cual se atribuye a la presencia de tocoferoles que ejercen un efecto protector antioxidante (Alvarez-

Jubete y col., 2010). El amaranto es considerado también una buena fuente de fibra dietaria, la cual representa alrededor del 20% del grano o semilla (Alvarez-Jubete y col., 2010). El consumo de fibra dietaria, entendida como los polisacáridos de la pared celular, lignina y sustancias asociadas resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas que ejerce efectos positivos en la salud, al promover el bienestar digestivo, reducir la incidencia de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo II, prevenir la ganancia en peso y obesidad y algunos tipos de cáncer, como el de colon (Vitaglione y col., 2008). En lo que respecta al contenido de micronutrientes inorgánicos en el amaranto encontramos contenidos importantes minerales, destacando el calcio, magnesio y hierro (Alvarez-Jubete y col., 2010), así como magnesio, fósforo, cobre y manganeso (Kaur y col., 2010). Dentro del grupo de las vitaminas se reconoce a este pseudocereal como una buena fuente de riboflavina y vitamina E (Alvarez-Jubete y col., 2010).

En las últimas décadas, las investigaciones en alimentos han enfocado sus esfuerzos a la identificación y cuantificación de compuestos con actividad biológica que pudieran ejercer un efecto benéfico en la salud de los consumidores. La semilla de amaranto posee, además de los nutrientes, cantidad importantes de polifenoles, metabolitos secundarios que promueven la salud al participar en la prevención de enfermedades crónico degenerativas como obesidad, diabetes, padecimientos cardiovasculares y cáncer. Los principales compuestos fenólicos presentes en el amaranto son ácido caféico, ácido p-hidroxibenzoico y ácido ferúlico. Además de los polifenoles, el amaranto contiene fitoesteroles en la parte lípida del pseudocereal, estos compuestos que no pueden ser absorbidos por el intestino humano, poseen una estructura similar a la del colesterol, por lo que inhiben la absorción intestinal del mismo contribuyendo a la disminución de su concentración en plasma, además de poseer actividad antiviral y antitumoral. Los fitoesteroles representan cerca del 20% de la fracción insaponificable de la grasa en el amaranto siendo el más importante el condilasterol (Alvarez-Jubete y col., 2010). Otro compuesto con importante actividad biológica en la fracción oleosa del amaranto es el escualeno, el cual genera beneficios directos e indirectos para la salud, debido a su capacidad de actuar como agente

anticancerígeno y sus efectos hipocolesterolémicos, es decir, a la capacidad de disminuir los niveles de colesterol a través de la inhibición de la síntesis de colesterol en hígado (Kaur y col., 2010).

Al amaranto se le han atribuido propiedades relacionadas con la promoción de bajos índices glicémicos. Se ha demostrado que el consumo de grano de amaranto provoca una reducción en los niveles de glucosa en suero y un aumento en los niveles de insulina en suero de ratas diabéticas. Así mismo otros estudios han generado evidencia que la semilla, así como el concentrado de proteína y el aceite de amaranto pueden disminuir los niveles de colesterol sérico y hepático y triglicéridos (Alvarez-Jubete y col., 2010).

II.1.2 La hoja de amaranto

Las hojas del amaranto pueden utilizarse como verdura en la etapa temprana, cuando que son tiernas. Estas hojas forman parte del grupo de los quelites u hojas comestibles como las espinacas, acelgas, verdolagas, hojas de coliflor, y cilantro. Se han caracterizado especies de amaranto específicas para su consumo como vegetal, dentro de las cuales podemos mencionar: *A. tricolor*, *A. cruentus*, *A. dubis*, *A. palmeri*, y *A. hybridus*, siendo ésta última cultivada y consumida principalmente en México (Paredes-López, 1994). La hoja de amaranto, se ha propuesto como una alternativa para la alimentación humana, pues además de sus propiedades nutricionales, es un producto muy barato, que puede ser cultivado en un amplio rango de climas, es altamente resistente a sequías y al calor. En su composición química destaca una cantidad importante de micronutrientes como el hierro, mineral necesario para evitar problemas de anemia; calcio, que participa en la formación de estructura ósea, así como en funciones musculares y neurológicas, y otros minerales como potasio, magnesio, zinc, manganeso y níquel. El perfil de minerales dependerá principalmente de la variedad de hoja de amaranto, por ejemplo *A. tricolor*, se reconoce como una mejor fuente de hierro y magnesio, mientras que *A. hybridus* contiene más calcio, potasio, manganeso y zinc (Shukla y col., 2006). Además de

los minerales, la hoja de amaranto posee cantidades considerables de β -caroteno, ácido ascórbico (vitamina C), riboflavina y ácido fólico, vitamina esencial para toda la familia y especialmente relevantes en la alimentación de las mujeres, al ejercer protección en los años de fertilidad contra el cáncer de ovario, así como la depresión y las enfermedades del corazón (Singh y col., 2001). Otras de las bondades nutricionales del consumo de amaranto como vegetal, es su contenido de fibra dietaria y proteína, lo que le ha ganado prestigio entre la comunidad vegetariana.

Entre las recomendaciones de consumo de hoja de amaranto, una de las más populares es el consumo de hoja cuando está tierna, esto debido principalmente a atributos sensoriales, ya que mientras más madura es la hoja se vuelve más fibrosa, teniendo menos palatabilidad y digestibilidad. Estudios como el realizado por Shulka y col. en el 2003, apoyan esta recomendación tradicional, desde la perspectiva nutricional, se comparó la composición de recortes de diferentes cultivos de hoja de amaranto de 21 a 61 días, encontrando que las plantas con mayor contenido de fibra tienen menor contenido de proteína. Además, se observó que el máximo contenido de carotenoides se obtiene a los 3 meses, viéndose después disminuido conforme la planta alcanza su madurez. Es por ello que resulta ideal tanto desde el punto de vista sensorial como nutricional el consumo de hoja de amaranto en etapa tierna, de 2 a 3 meses de edad.

Dentro de todas las bondades nutricionales que la hoja de amaranto posee, existe una restricción sobre su consumo en estado fresco o crudo, esto debido a la presencia de factores antinutricionales, como el ácido oxálico. Este disminuye la biodisponibilidad del calcio al formar oxalatos. De manera adicional, altas concentraciones de oxalato de calcio pueden formar cálculos que obstaculicen los conductos renales. Por lo anterior se recomienda siempre someter las hojas de amaranto a un tratamiento térmico (Shulka y col., 2003).

La hoja del amaranto es muy versátil y por su sabor tan suave puede integrarse a una gran variedad de guisos sin modificar su sabor y apariencia. Las hojas del amaranto se pueden aprovechar elaborando aguas frescas, ensaladas, sopas, jugos, guisos, papillas, pastas, tortillas, tamales, etc. Sin embargo es importante tomar en cuenta el efecto de los diferentes métodos de procesado en la composición nutrimental del producto final, pues aunque es necesario eliminar los factores antinutrimientales con el tratamiento térmico, se debe procurar la menor pérdida de nutrientes posibles. Se ha observado que tratamientos como el almacenamiento en refrigeración, el secado en horno, el blanqueado en agua por periodos cortos (5 minutos), así como las cocciones en olla de presión favorecen una mejor retención del ácido ascórbico y β -carotenos, compuestos altamente termolábiles presentes en la hoja de amaranto; mientras que el almacenamiento a 30 °C, el secado al sol y cocciones prolongadas generan pérdidas de hasta 83% del contenido de ácido ascórbico y 49% del contenido de β -caroteno (Kala y Sehgal, 1995).

II.1.3 Usos y aplicaciones del amaranto en productos alimenticios

Por muchos años, el amaranto fue considerado como un cultivo secundario, con fines de autoconsumo y en algunos otros casos pequeñas producciones para elaborar grano reventado o harina. En nuestro país, por ejemplo, tenemos las alegrías, un dulce tradicional confeccionado a partir de grano de amaranto reventado, como las palomitas de maíz, mezclado con mieles o jarabes de piloncillo que se moldea en formas diversas y en algunos casos se baña con chocolate o se adicionan nueces, pasas o almendras. En India existe un producto similar a las alegrías mexicanas, llamados “laddoos”. La harina de amaranto se utiliza como agente espesante en salsas, sopas, guisados y natillas, además, mezclado con harina de trigo se usa para elaborar algunos panes o con harina de maíz para fabricar tortillas, no obstante la disponibilidad de estos productos en el mercado es aún limitada. Así mismo la hoja de amaranto se incorpora en la preparación casera de una diversidad de guisados y platillos, desafortunadamente la disponibilidad de la

hoja es todavía más limitada que la del grano de amaranto, y se limita básicamente a las personas que tienen cultivos de traspatio. Además del uso para consumo humano, la hoja de amaranto se ha empleado en fresco y deshidratada como fuente de proteína y fibra para la alimentación de ganado como cerdos, conejos y borregos (Kaur y col., 2010).

Numerosos estudios e investigaciones se han desarrollado en diversas partes del mundo con los objetivos de rescatar, revalorar, caracterizar y utilizar el amaranto en diversos productos alimenticios ya que ofrece múltiples ventajas como la facilidad de cultivo, sus propiedades nutricionales y sensoriales, su versatilidad para incorporarse a diversos platillos y además de sus características como alimento funcional y nutracéutico. Una de las líneas de mayor auge en la actualidad es la de los productos libres de gluten para celíacos. La enfermedad celíaca es una enteropatía detonada por el consumo de granos con gluten (trigo, cebada y centeno) en individuos genéticamente susceptibles, donde el consumo de esta proteína causa daño progresivo de la mucosa intestinal afectando severamente su funcionalidad. Se estima que 1% de la población mundial padece celiaquía. El amaranto junto con otros pseudocereales y cereales libres de gluten como el arroz y el maíz han sido utilizados para desarrollar panes con un contenido importante de proteína, fibra, calcio, hierro y vitamina E. Otros esfuerzos se han enfocado al desarrollo de pastas, bísquets y galletas, a partir de cereales sin gluten. En la mayoría de los casos los resultados han sido favorables, lográndose productos con características sensoriales aceptables y con un alto valor nutritivo que contribuye considerablemente a la correcta nutrición de los individuos con enfermedad celíaca.

La industria alimentaria se ha apoyado en las investigaciones científicas y tecnológicas para desarrollar y lanzar al mercado productos alimenticios a base de amaranto que satisfagan las necesidades nutricionales y funcionales de los consumidores en diferentes países. Es importante mencionar que una de las principales limitantes para el desarrollo de productos con amaranto en muchos países, incluyendo México, es la falta de producciones agrícolas de calidad y en la cantidad suficiente que permitan producciones industriales rentables.

La compañía más importante de alimentos en Estados Unidos, ConAgra Foods© a través de su división ConAgra Mills® ha lanzado una línea de harinas integrales denominada Ancient Grain que ofrece harina integral de amaranto, quinoa, sorgo y mijo a partir de las cuales se pueden desarrollar muchos productos como panes, pastas, tortillas, cereales para el desayuno, pasteles y postres, masas para pizzas, galletas, botanas, barras y coberturas. Entre los productos listos para consumir podemos mencionar los elaborados por Gogo Quinoa, una compañía canadiense que ofrece productos orgánicos libres de gluten con amaranto y quinoa que además comercializa sus productos bajo la filosofía del comercio justo. En el mercado orgánico se comercializa un pan de centeno con amaranto de la marca Biona Organic. En Australia la compañía Orgran® ha desarrollado la línea Super Grains donde se pueden encontrar pastas con amaranto y grano de amaranto reventado, con aportes importantes de fibra y libres de gluten. También se han lanzado al mercado cereales para el desayuno como Amaranth Flakes de la compañía Arrowhead Mills en Estados Unidos o Crunchy Corn & Amaranth Cereal de Erewhon (Figura 2). En Europa Allos ofrece cereales para el desayuno, galletas, grano reventado, granolas y barras. En España, el Granero Integral, compañía de productos biológicos ofrece botanas con amaranto. En Perú, se comercializa Kiwigen, un polvo para preparar bebidas saborizadas obtenido a partir de kiwicha, nombre común para el *Amaranthus caudatus*, y quinoa desarrollado para la nutrición infantil.



Fig. 2. Productos Alimenticios a base de Amaranto

(<http://www.orgran.com/>, <http://www.elgranero.com>,<http://www.erewhonmarket.com>)

Desafortunadamente la mayoría de los productos procesados están disponibles en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá y en la Comunidad Europea, mientras que en países en desarrollo, incluyendo México, la disponibilidad de productos con amaranto se limita a grano reventado, harina y barras como Nutri-día® de Kellogg's. En México existen diversas organizaciones y asociaciones civiles, como México Tierra de Amaranto, A. C., que ven al amaranto como una alternativa viable para el combate de la desnutrición y malnutrición que aqueja a una gran parte de la población. Su labor consiste en dar a conocer las bondades de esta planta endémica de nuestro país y promover su cultivo y consumo principalmente en los sectores más vulnerables de la población. Sus esfuerzos podrían verse potencializados si se promoviera entre la industria alimentaria el desarrollo de productos de amaranto con valor agregado como ocurre en otros países, así el amaranto estaría más disponible y de una manera más práctica para los consumidores.

II.2. La pasta

La Organización Internacional de la Pasta, define a ésta como el alimento hecho de sémola (harina) de trigo duro mezclada con agua y algunas veces con huevo, los cuales se amasan, se transforman en diversas figuras y se secan para posteriormente ya en la cocina, hervirse previo a su consumo. La palabra pasta es el término que se emplea en italiano para designar a la masa elaborada a partir de sémola de trigo y agua, la cual puede tener como ingredientes adicionales huevo, colorantes naturales como las espinacas y tomate. La mayor parte de la pasta estilo italiano se elabora básicamente a partir de sémola de trigo y agua. Es un alimento muy simple, aceptado y empleado en todo el mundo, en gran medida debido a que se ha logrado que la producción de este alimento sea económica y abundante sin detrimento de su calidad (Kill y Turnbull 2001).

II.2.1 Elaboración de la pasta

II.2.1.1 Ingredientes

Por siglos, el ingrediente central de la pasta ha sido la sémola, que es el producto de la molienda del trigo durum (*Triticum durum*). Esta variedad de trigo se caracteriza por su endospermo especialmente duro el cual posee una coloración amarilla ámbar, que define el color final de la pasta. Durante el proceso de molienda se separa el endospermo en forma de sémola y se elimina el salvado y el germen. El tamaño de partícula y la uniformidad son parámetros que definen la calidad de la sémola utilizada en la elaboración de pastas. Una de las principales diferencias entre la sémola y la harina de trigo es el tamaño de partícula, la cual puede ir de 150 – 500 μm (Kruger y col, 1996). El segundo ingrediente en importancia es el agua, la cual se añade en una proporción de 18-25% con respecto a las materias primas secas. En ocasiones, en las formulaciones de pastas se adiciona huevo y/o clara de huevo, que imparte fortaleza y textura, además de mejorar el valor nutritivo del producto. Otros ingredientes adicionales son la espinaca y el jitomate empleados como colorantes naturales. Basta una pequeña cantidad de estos productos para conseguir la coloración de la pasta y generalmente se añaden estos productos deshidratados. La cantidad de espinaca añadida es alrededor del 2%, mientras que de jitomate es del 4% (Kill y Turnbull 2001).

II.2.1.2 Proceso de Elaboración

El objetivo del proceso de elaboración de pastas es transformar la masa de sémola en una mezcla con una estructura homogénea, capaz de mantener una forma en particular, la cual es estabilizada por medio del secado (Kruger y col, 1996). La elaboración de las pastas se puede dividir en tres etapas principales: el mezclado, la extrusión y el secado. En la primera etapa del proceso, los componentes de la semolina, el gluten y el almidón, son hidratados para modificar sus propiedades reológicas. El gluten del trigo duro es un material vítreo cuando está seco, que al hidratarse se transforma en material gomoso y elástico, capaz de formar cadenas y láminas mediante la formación de puentes intermoleculares. El almidón, que

representa aproximadamente el 85% de los sólidos en la sémola, en un material inerte con reducida capacidad de absorber agua a temperaturas inferiores a 55 °C. Cuando se calienta, el almidón pierde su rigidez estructural y puede absorber agua, lo que se acompaña de un aumento en la viscosidad provocado por el hinchamiento y la liberación de material soluble del gránulo de almidón. Durante el mezclado, a la sémola de trigo se le añade agua, hasta conseguir que la masa contenga un 30-32% de humedad. En esta etapa del proceso es importante garantizar la completa hidratación de la sémola y de los ingredientes adicionales (Kill y Turnbull 2001).

La siguiente etapa del proceso de pastas es la extrusión, proceso en el que un material es forzado a fluir, bajo una o varias condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de una placa o boquilla diseñada para darle forma al material (Apró y col., 2000). Este proceso es muy importante ya que tiene una influencia decisiva en la calidad de producto final. Los tornillos que componen los extrusores de pastas, realizan diversas funciones dependiendo de la zona a lo largo del extrusor. La primera parte es la zona de alimentación del extrusor (Figura 3), seguida de la zona de amasado, donde los materiales son integrados en una mezcla homogénea a través de trabajo mecánico que provocará una reorganización de los materiales de la masa. El gluten forma una red proteica a través de enlaces cruzados proteína-proteína que encapsulan los gránulos de almidón, que estabilizan la estructura y dan textura comestible de la pasta final (Kill y Turnbull 2001). Durante el amasado se genera fricción, esta energía mecánica se disipa en forma de calor, incrementando la temperatura de la masa. Si la temperatura de la masa sobrepasa los 55 °C, cambios adversos pueden ocurrir, como la desnaturalización del gluten, así como el inicio de la gelatinización del almidón. La proteína que coagula forma agrupados dentro de la red de proteína originando pastas de poca resistencia a la cocción. Para evitar este fenómeno los cilindros del extrusor son provistos de una chaqueta enfriadora con agua a 38-40°C para mantener la temperatura de la masa. Finalmente, la masa es conducida a la cámara de compresión para ser forzada a salir a través del dado donde toma su forma final (Kruger y col, 1996).

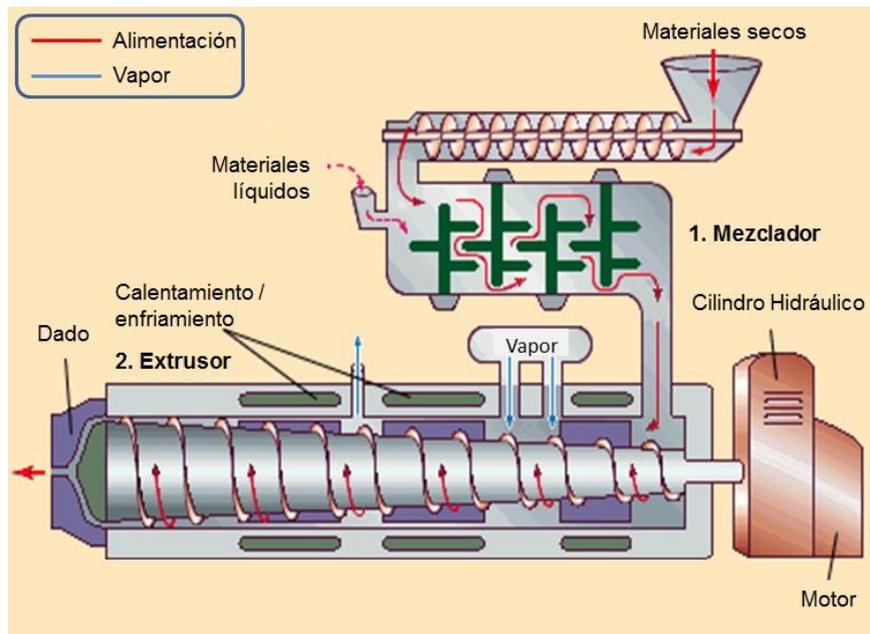


Figura 3. Equipo extrusor para pastas.
 (<http://www.britannica.com/EBchecked/media/166/A-high-temperature-short-time-extruder>)

Después del proceso de extrusión la pasta se somete a un proceso de secado, para asegurar su estabilidad microbiológica y bioquímica. La humedad del producto se retira mediante corrientes de aire seco, lo cual crea un gradiente en el contenido de humedad dentro de la pasta, provocando que la humedad se difunda desde el centro hacia la superficie del producto. La velocidad de secado juega un papel fundamental en las características del producto final, generalmente los secados rápidos provocan grietas. El control de la temperatura durante el secado es útil para modificar la textura tras la hidratación y el cocinado y el color. Durante el secado, la coagulación de la proteína por el calor creará una red proteica permanente alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza e integridad realzadas. Esto evita que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción, mejorando la firmeza y consistencia. Existen diferentes tipos de secado, dependiendo de la temperatura que se emplee. Tradicionalmente se utilizaban temperaturas de 50°C con un tiempo de secado de 14 a 20 horas. Posteriormente se introdujo la tecnología de secado a alta temperatura (HT, del inglés high temperature) con temperaturas de 75°C y tiempos

de secado de 7-10 horas. Recientemente se empezaron a emplear temperaturas alrededor de los 100°C (HHT) (Kill y Turnbull 2001).

II.2.2 Importancia de la pasta como alimento y su valor nutritivo

La pasta es un alimento ampliamente aceptado y consumido en muchos países, su sabor, versatilidad, facilidad de almacenamiento y preparación la han convertido en parte fundamental de la dieta de miles de familias alrededor del mundo. A pesar de que por mucho tiempo la pasta se consideró erróneamente como un alimento que promovía ganancia de peso, hoy en día se reconoce como una opción de alimentación saludable, debido en gran medida al trabajo de la comunidad científica así como de organizaciones promotoras de este alimento como la Unión de Organizaciones o Fabricantes de Pasta de la Comunidad Europea o la International Pasta Organisation (IPO) la cual a través de su documento Pasta para Todos, publicado en 2007, recopila evidencia científica sobre los beneficios nutrimentales del consumo de pasta. Entre los cuales se encuentra en primera instancia que la pasta es una fuente de carbohidratos complejos, fuente principal de energía y la base de la alimentación, como lo muestra la pirámide nutrimental y el plato del bien comer.

Además la pasta está reconocida como un alimento de bajo índice glicémico (GI), ya que no ocasiona que el contenido de glucosa en sangre aumente rápidamente, siendo una fuente de energía gradual. Este bajo aporte glicémico lo hace una opción benéfica para personas con diabetes, dicha aseveración está apoyada por un estudio publicado por el Instituto Nacional de Cáncer en Estados Unidos (Pasta for all, 2010). Es importante recalcar que cuando se consume en pequeñas porciones y en combinación con alimentos saludables, la pasta no causa aumento de peso. Una ración saludable de pasta es de 80 a 100 gramos de pasta sin hervir.

La pasta como platillo es un eficiente sistema de entrega para alimentos saludables. La pasta no se come sola, siempre se acompaña de verduras, aceite de oliva, salsa de tomate, legumbres y aves, carne, pescado y mariscos. La

combinación de estos ingredientes, convierten a la pasta en un alimento entero, que dilata la digestión y absorción de la glucosa en la sangre mientras provee de los nutrientes esenciales como fibra, proteína y vitaminas. En el Cuadro 1, se muestra el índice glicémico de algunos alimentos, incluyendo a la pasta.

Cuadro 1. Índice glicémico para diversos alimentos (Brand-Miller y col. 2007).					
Alimento	Índice glicémico	Alimento	Índice glicémico	Alimento	Índice glicémico
Manzana	38	Maíz dulce	48	Pasta	44
Plátano	52	Camote amarillo	61	Pasta integral	42
Mango	51	Camote morado	75	Quinoa	51
Uva	53	Bagel	72	Arroz	57-89
Toronja	25	Croissant	67	Frijoles	42
Durazno	42	Pan pita	57	Chicharos	40
Piña	59	Waffle	76	Leche	27
Sandía	76	Pan blanco	71	Leche light	32
Naranja	42	Pan integral	71	Yogurt	36
Papaya	56	Cornflakes	77	Helado light	28
Rábano	64	Trigo sarraceno	54	Leche soya	40
Zanahorias	41	Cebada perlada	25	Leche	61
Papas	58-87	Fideo	52	condensada	

Todos estos beneficios nutricionales se ven reflejados en un mayor consumo en diferentes países alrededor del mundo. En el Cuadro 2 se puede observar el consumo *per cápita* de pastas en diferentes países para los años 1998 y 2010 donde resulta evidente un incremento en el consumo de este producto. Como era de esperarse, la lista está encabezada por Italia, seguida de un país latinoamericano, Venezuela, países de la comunidad Europea y Estados Unidos. Cabe resaltar que en México el consumo de pasta ha aumentado considerablemente, hecho que representa áreas de oportunidad para el desarrollo de nuevos productos.

Cuadro 2. Consumo nacional estimado de pasta (Kill, 2001 y Pasta for all, 2010)		
País	Consumo <i>per cápita</i>	
	1998	2010
Italia	28.5	26.0
Venezuela	12.7	12.0
Túnez	11.7	11.7
Suiza	9.6	9.7
Suecia	5.5	9.0
Estados Unidos	9.0	9.0
Chile	9.0	8.3
Perú	8.0	8.3
Francia	7.3	8.1
Alemania	5.4	7.7
Argentina	6.8	7.2
Portugal	6.5	6.7
Canadá	6.3	6.5
Brasil	4.0	6.4
España	4.5	5.0
Bolivia	4.8	4.8
México	2.3	3.0
Reino Unido	2.5	2.5
Japón	1.7	1.7
Egipto	1.2	1.2
Irlanda	1.0	1.0

II.2.3 Pasta con ingredientes no convencionales

Como se ha mencionado anteriormente la pasta juega hoy en día un importante papel en la nutrición humana, su valor nutrimental, su larga vida de anaquel así como su difusión en el mundo le ha valido el reconocimiento de la Organización Mundial de la Salud y la Food and Drug Administration (FDA) como un importante vehículo para la adición de nutrientes y compuestos bioactivos (Chillo y col., 2008). Múltiples grupos de investigación en diferentes partes del mundo han enfocado esfuerzos al desarrollo de nuevos tipos de pasta, así como a la evaluación de sus propiedades nutrimentales y nutraceuticas. Las primeras investigaciones se enfocaron a la elaboración de pastas a partir de harinas integrales, las cuales contienen más vitaminas, minerales y fibra dietaria en comparación con las pastas

tradicionales. La fibra dietaria de los cereales integrales es rica en compuestos antioxidantes, principalmente compuestos fenólicos como el ácido ferúlico y el ácido cafeico, los cuales son liberados a nivel de colon, después de que la fibra es hidrolizada por la flora microbiana, pudiendo así ejercer su protección antioxidante. Estudios realizados en pastas integrales comerciales han demostrado un contenido mayor de compuestos fenólicos en comparación con las pastas de sémola (Hirawan y col., 2010). Siguiendo la misma línea de investigación se encuentra el trabajo desarrollado por Fares y col. en 2010, quienes desarrollaron pastas con sémola enriquecida con salvado de trigo, reconocido como una fuente natural importante de compuestos antioxidantes, útiles para la prevención de enfermedades crónicas degenerativas asociadas al estrés oxidativo. Encontraron que el contenido de compuestos fenólicos se ve disminuido por efecto del procesamiento, sorprendentemente después de la cocción la pasta presentó un incremento en su capacidad antioxidante *in vitro*, debido a que la cocción en agua provoca una mayor extracción de compuestos fenólicos de la matriz alimentaria, destacando el contenido de ácido ferúlico.

Otra línea de investigación es la adición de ingredientes a formulaciones de pasta para mejorar el valor nutricional y nutracéutico de la pasta. Se ha adicionado orégano y hoja de zanahoria, para mejorar la actividad antioxidante de la pasta, donde se encontró un aumento en el contenido de ácidos grasos omega 3 y en las propiedades antioxidantes, y en concentraciones de hasta el 5% los componentes no interfieren con la calidad tecnológica y sensorial de la pasta (Boroski y col., 2011). También se han desarrollado formulaciones de pastas con hoja de amaranto deshidratada, las cuales no mostraron diferencias significativas en composición química y aporte nutrimental y aceptación del consumidor al compararlas con las pastas con espinacas, con lo cual se abre el abanico de posibilidades de usos industriales para esta planta endémica de México (Borneo y Aguirre, 2008).

Aunado a los estudios anteriores existe una línea de investigación muy importante para el desarrollo de pastas sin gluten, esto con el objetivo de ofrecer productos seguros para personas que padecen la enfermedad celíaca. Como

alternativas a la harina de trigo duro, se han evaluado pastas hechas a partir de trigo sarraceno, quinoa, amaranto y mezclas de estos pseudocereales. Se ha informado que las pastas elaboradas únicamente con amaranto poseen poca textura así como poca resistencia a la cocción, sin embargo se vio que mezclas de 60% trigo sarraceno, 20% amaranto y 20% quinoa dan una mezcla con mejores propiedades funcionales, las cuales se potencializan aún más cuando se adicionan agentes emulsificantes y clara de huevo en polvo (Schoenlechner y col., 2010). Se han hecho estudios sobre el uso de amaranto como ingrediente base de la pasta, adicionando quinoa, haba y garbanzo, donde encontraron que no había diferencias sensoriales relevantes en comparación con pastas de trigo duro, pero la pasta con amaranto presentó una menor resistencia a la cocción, así como un mayor porcentaje de pérdidas por cocción (Chillo, y col. 2008). Estos resultados sugieren la necesidad de adicionar a las formulaciones de pasta con amaranto y otros pseudocereales agentes texturizantes o emulsificantes que ayuden en el reemplazo del gluten como material estructural de la pasta. En el estudio realizado por Chillo y colaboradores en 2009a, se evaluaron las propiedades funcionales de pasta con amaranto, quinoa y avena con diferentes aditivos como carboximetilcelulosa, aislado de proteína de suero de leche, caseína, quitosano y almidón pregelatinizado. De los resultados más significativos está el hecho que la adición de aislado de proteína de suero de leche mejora la tenacidad de la pasta con amaranto. Además se observaron efectos positivos en las propiedades reológicas de pastas con almidón pregelatinizado, ya que las partículas de almidón incrementan la viscosidad de la mezcla favoreciendo la textura final del producto. También se ha observado un efecto positivo con la utilización de almidón retrogradado, el cual ayuda a conferir rigidez a la pasta cocida, reduce su adherencia y las pérdidas por cocción (Mariotti y col., 2011). En investigaciones similares se han observado efectos positivos en la adición de carboximetilcelulosa y almidón pregelatinizado en pastas de quinoa y avena (Chillo y col, 2009b). Además de la adición de agentes texturizantes a pastas libres de gluten, diversos autores han evaluado el efecto de modificaciones en el proceso de elaboración de pastas para obtener mejores productos. También se ha informado que al someter las masas a extrusiones múltiples (re-extrusión) aumenta la

resistencia de la pasta debido a un incremento en el grado de gelatinización de la masa, además de mejorar el color y la homogeneidad de las pastas (Chillo y col., 2010).

II.3 Alimentos Funcionales

II.3.1 Definición de Alimentos Funcionales

En los últimos años, ha aumentado considerablemente el interés por conocer y entender la relación entre la dieta y la salud. Múltiples investigaciones alrededor del mundo han demostrado que muchos alimentos como las frutas, las verduras, el pescado o la leche contienen compuestos con beneficios para la salud. Los expertos recomiendan seguir una dieta sana, variada y equilibrada como la mejor manera de prevenir ciertas enfermedades asegurando una buena salud. Desafortunadamente, el estilo de vida actual ha provocado que se abandonen los hábitos de alimentación saludables que durante años habían formado parte de nuestra historia y tradición. Estos desequilibrios y desajustes alimentarios están relacionados con la aparición de un gran número de enfermedades. En respuesta a esta problemática de salud, han surgido los alimentos funcionales, apreciados como promotores de la salud, los cuales bajo ciertas condiciones de ingesta influirán positivamente en una o más funciones del cuerpo, mejorando el estado de salud y/o reduciendo el riesgo de enfermedades. Los alimentos funcionales se definen de diversas maneras, por ejemplo en Japón, primer país con legislación para este tipo de productos, se definen como alimentos procesados que contienen ingredientes que ayudan a funciones corporales específicas, además de ser nutritivos. La Comunidad Europea reconoce como alimentos funcionales aquellos que contienen un componente alimenticio (sea o no un nutriente) con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse que es funcional (fisiológico) o incluso saludable. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos los define como alimentos modificados, o que tengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que

contiene (Anónimo, 2004). El Departamento de Salud de Canadá define a los alimentos funcionales como aquellos productos alimenticios que poseen beneficios fisiológicos demostrables (Shahidi, 2009).

II.3.2 Mercado de Alimentos Funcionales

De acuerdo al estudio “Future Directions for the Global Functional Foods Market” realizado por la compañía Leatherhead Food Research en 2011, el valor actual del mercado de alimentos funcionales está estimado en 24 mil millones de dólares. El sector ha crecido 150% desde 2003, teniendo un crecimiento anual de cerca del 4%. Pocos sectores en la industria de los alimentos han tenido un crecimiento tan acelerado y sostenido como el de los alimentos funcionales. Dentro de los factores que han influido a este crecimiento destacan en primera instancia los avances científicos y tecnológicos, particularmente en el estudio y desarrollo de ingredientes funcionales, promoviendo el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Así mismo los cambios en la dieta, estilo de vida, conciencia e interés de los consumidores en su salud y bienestar a través de los alimentos han contribuido en el fortalecimiento de este sector (Bruce, 2011). A nivel mundial, Estados Unidos es el país con mayor participación en el mercado de alimentos funcionales, al contribuir con el 50% de las ventas del sector. Otro mercado importante es el de Japón, donde desde 1955 la compañía Yakult Honsha ha desarrollado productos probióticos a base de la bacteria láctica *Lactobacillus casei Shirota*, y cuyo mercado está estimado en cerca de 2 mil millones de dólares, al igual que para el mercado en la Comunidad Europea (Menrad, 2003).

Otro aspecto interesante del mercado de los alimentos funcionales es la estructura de su industria, en la cual se pueden identificar seis diferentes actores, las compañías multinacionales de alimentos, las compañías farmacéuticas, la industria nacional, las pequeñas y medianas empresas, las compañías de ventas al detalle y los proveedores de ingredientes funcionales. Como es de esperarse, las grandes compañías multinacionales, encabezan la industria de los productos alimenticios funcionales, en gran medida por su capacidad tecnológica, financiera y de mercadotecnia que les ha permitido desde mediados de los años 90's ofrecer a los

consumidores alimentos promotores de la salud (Menrad, 2003). En el Cuadro 3, se presenta un listado de compañías multinacionales que producen y comercializan alimentos y bebidas funcionales.

Cuadro 3. Compañías multinacionales productoras de alimentos funcionales (PwC, 2009).	
Compañía	Marcas de Alimentos Funcionales
Pepsi-Co	Quaker, Gatorade
Coca-Cola	Vitamin Water
General Mills	Cheerios, Yoplait
Kellogg	Special K, Kashi
Kraft	CapriSun, Balance Bar
Nestlé	Nesquik, PowerBar
Danone	Activia, Essensis
Unilever	Slim-Fast, Blue Brand
Yakult Honsha	Yakult 400, Jole

Los alimentos funcionales se categorizan tanto por el tipo de alimento como por el beneficio a la salud que promueven. Las bebidas no alcohólicas y los productos lácteos constituyen el 60% del mercado de alimentos funcionales, encontrando en estas categorías bebidas enriquecidas con vitaminas, minerales o compuestos antioxidantes, además de yogurts con bacterias benéficas y margarinas con fitoesteroles. Después del sector de bebidas y productos lácteos se encuentra la categoría de cereales y productos de panificación, los cuales en 2005 representaron una ganancia en Estados Unidos de 3,204 millones de dólares, siendo una de las áreas con mayor potencial de desarrollo. En esta categoría encontramos productos de grano entero que promueven la salud digestiva, o los fortificados con minerales como el calcio para la salud ósea, y los productos con propiedades hipocolesterolémicas a base de soya o avena. En el Cuadro 4 se pueden observar marcas de productos funcionales que se comercializan en los Estados Unidos clasificados por categoría de producto.

Cuadro 4. Marcas de Productos Funcionales en los Estados Unidos por tipo de producto funcional y compañía. (George Morris Centre, 2008)			
Área	Producto Funcional	Compañía	Marca
Productos Lácteos	Probióticos	Dannon	Actimel, Activia, YoBaby
	Yogurt reductor colesterol	General Mills	Yoplait
		Dannon	Light'nFitwithFiber
	Bebidas saludables	Dannon	Actimel
	Leches fortificadas	Borden	
Productos de Panificación	Grano entero (salud del corazón) y panes fortificados	Sara Lee	Heart Healthy Plus; Soft & Smooth
	Panes con Omega 3	The Baker	
		Arnold Foods	
Galletas ricas en fibra	Quaker	Quaker Breakfast Cookies	
	Nabisco	Wholegrain Chips Ahoy	
Cereales	Cereales para la salud del corazón	Quaker	Take Heart Instant Oatmeal
		General Mills	Cheerios
		Kellogg	Smart Startbrands
	Barras de cereal fortificadas con calcio	Quaker	Chewy
		Kellogg	Cereal and MilkBars
	Barras ricas en fibra	Kellogg	All Bran
	Pastas de grano entero	Barilla	Barilla Plus
Kraft		Supermac& Cheese Pasta and Sauce	
Bebidas	Jugos de fruta	Ocean Spray	Cranberry Juice Cocktails
		Minute Maid	Heartwise, Minute Maid
	Aguas fortificadas	Gatorade	Propel Fitness Water
		PepsiCo	Aquafina
	Coca-Cola	Dasani	
Carne, Pescado y Huevo	Pescado enlatado con Omega-3	Chicken Of the Sea	
	Suplemento de aceite de pescado	Bumble Bee	
	Huevo enriquecido con Omega-3 DHA	Eggland's Best	

Otro sector muy importante del mercado son los alimentos energéticos, los cuales representan el 29% del sector. Su auge se debe a que el consumidor puede sentir sus atributos con mayor rapidez. También son importantes los productos para la salud intestinal, de huesos y del corazón, dirigidos principalmente a consumidores mayores. Dentro de las áreas con potencial para el desarrollo de nuevos productos destacan los orientados al manejo del peso, mejoramiento de las facultades

mentales, salud infantil, así como los promotores de la salud y la belleza de la piel (PwC, 2009).

II.3.3 Factores de éxito y crecimiento de los alimentos funcionales

Existen una serie de factores sociales, demográficos y económicos que apoyan el crecimiento sostenido y el éxito comercial de los productos alimenticios funcionales. Destaca en primera instancia el grado de familiaridad y aceptación de estos productos por parte del consumidor, es un compromiso y exigencia para los productores de ingredientes y alimentos funcionales ofrecer información específica y valiosa, así como desarrollar actividades de comunicación con los consumidores potenciales. El éxito de un producto dependerá en gran medida de que el usuario pueda reconocer los beneficios del mismo, que además traerá como consecuencia la aceptación del precio del producto, que por lo general es más elevado en comparación con alimentos convencionales, de un 30-50% mayor. Se ha observado que el consumidor está dispuesto a aceptar precios más altos sólo para productos funcionales debido a su efecto positivo en la salud. También resulta importante considerar que los alimentos posean atributos sensoriales aceptables, que sean convenientes, prácticos y variados (Menrad, 2003). Otro aspecto fundamental es la legislación para la promoción y comercialización de alimentos funcionales. En Japón, por ejemplo, desde 1991 el Ministerio de Salud desarrolló una categoría de alimentos denominada FOSHU, siglas en inglés de “food for specified health uses”, y en Estados Unidos, en 1997, la FDA aprobó la utilización de afirmaciones sobre efectos en la salud de alimentos. Finalmente las tecnologías emergentes han hecho posible estabilizar ingredientes funcionales en la matriz alimentaria, y optimizar atributos sensoriales y de vida de anaquel (PwC, 2009).

II.3.4 Alimentos Funcionales en Países en Desarrollo

De acuerdo al reporte publicado por el Banco Mundial, los alimentos funcionales no solo son importantes por sus beneficios a la salud, sino que también representan una nueva oportunidad económica, tanto para los países desarrollados como Estados Unidos, Japón o la Comunidad Europea, como para países en desarrollo, los cuales pueden aprovechar su riqueza en biodiversidad y su conocimiento tradicional sobre efectos benéficos en la salud de algunas especies de plantas endémicas para el desarrollo de alimentos funcionales. Además, el costo de mano de obra barata, puede representar un elemento de competitividad en la producción en estos países. A través de la generación de una industria de alimentos funcionales se puede impactar positivamente en múltiples sectores en los países en desarrollo, se promueve el sector agrícola, comunidades pobres se pueden beneficiar con la generación de mercados de alimentos funcionales a través de la domesticación de plantas silvestres, incrementando el valor comercial de estas especies endémicas, fortaleciendo la economía de mercados locales. El panorama es alentador, sin embargo existen tres factores que deben ser considerados para impulsar esta industria en países en desarrollo. El primero es el marco regulatorio, se necesita de una legislación que vigile la producción, ventas, certificación y publicidad de alimentos funcionales. Se requiere también evidencia y soporte científico sobre los beneficios potenciales los productos desarrollados, esta tarea deberá estar a cargo de los centros de investigación públicos y privados en cada país. Además se requiere entender las necesidades del mercado nacional e internacional para ofrecer productos adecuados; en este contexto bien valdría la pena considerar el tipo de enfermedades que más aquejan a la población. Finalmente está el hecho de la utilización responsable y sustentable de los recursos de cada nación, específicamente de las plantas endémicas que se puedan utilizar en la producción de alimentos funcionales (Williams y col., 2006).

II.3.4.1. Alimentos Funcionales en México

Cambios en los hábitos alimenticios, el consumo de la llamada comida rápida, alimentos ricos en grasa, azúcares y sal, porciones abundantes de alimento, aunado al estrés, el sedentarismo urbano, el mal uso y abuso de productos light y el concepto de que los alimentos saludables son caros, aburridos y de mal sabor han provocado en México un serio problema de salud pública, con una alta incidencia de enfermedades crónico-degenerativas, como la diabetes, el cáncer y padecimientos cardiovasculares, además alto índices de sobrepeso y obesidad.

Esta situación proyecta un gran potencial en el mercado mexicano, pues representan una opción para evitar o reducir el aumento de este tipo de padecimientos, además del interés creciente entre la población por productos para la salud. Sin embargo es necesario tomar en cuenta la necesidad de conceptualizar adecuadamente este tipo de productos y educar a la población sobre qué son, cómo y bajo qué condiciones funcionan, además desarrollar estudios científicos que prueben la efectividad de este tipo de productos. Estudios realizados por Yakult México, revelan que el 97% de los consumidores en México no entienden el concepto de alimentos funcionales, aunque manifiestan saber que hay alimentos especiales para la salud o saludables, aunque no refiere a un consumo generalizado de este tipo de productos (Esquivel, 2008).

Otro problema que enfrentan los alimentos funcionales en México es la falta de una normatividad y legislación adecuada, ya que por el momento sólo se cuenta con el artículo 32 de la Ley Federal de Protección al Consumidor donde se exige que la publicidad y la información sobre cualquier producto sean veraces, comprobables y precisas (Anzures, 2011).

II.3.5 El Amaranto como Ingrediente Funcional en México

Existe suficiente evidencia científica que sustenta el potencial del amaranto como ingrediente de un alimento funcional, además de que ya se han desarrollado en otros países algunos productos alimenticios a base de este pseudocereal, incluyendo panes, botanas, pastas, entre otros. Como ya se mencionó en apartados anteriores, el mercado de alimentos funcionales ofrece múltiples ventajas tanto para los productores como para los consumidores, aunado a que en nuestro país es un área en desarrollo. Todo lo anterior justifica el interés por desarrollar pastas fortificadas con harina y hoja de amaranto para el mercado nacional como una alternativa de producto funcional, nutritivo, práctico, versátil y de excelente sabor.

III. HIPÓTESIS

Las pastas elaboradas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada constituyen una fuente de nutrientes importantes que además exhiben propiedades antioxidantes *in vitro*, representando una alternativa de alimentación saludable para la población en México.

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

Evaluar la composición química, características de calidad y actividad antioxidante de pastas enriquecidas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada.

IV.2 Objetivos particulares

- Elaborar pastas con diferentes concentraciones de harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada y evaluar su calidad comercial de acuerdo a los métodos de la AACC.
- Determinar la composición química de las pastas por los métodos de la AOAC.
- Realizar una evaluación sensorial las pastas a través de un panel de consumidores para determinar el grado de aceptación del producto elaborado.
- Determinar la capacidad antioxidante *in vitro* de las pastas por los métodos de Fenoles Totales, DPPH, FRAP y ORAC.

V. METODOLOGÍA

V.1 Materiales

La harina de amaranto, la semolina y el huevo fresco fueron obtenidos de establecimientos comerciales en Winnipeg (Manitoba, Canadá). La hoja de amaranto se consiguió a través de productores del Estado de Querétaro, las cuales se sometieron a un proceso de selección, limpieza, blanqueado con vapor (3 minutos) y secado en horno de convección de aire a 50°C por 5 horas. Como aditivo se utilizó carboximetilcelulosa (CMC) (TIC Gums, Nealanders International Inc., Delta, B.C.).

V.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en mezclas con proporciones variables de sémola de trigo, harina de amaranto, hoja de amaranto deshidratada, huevo fresco y carboximetilcelulosa con las siguientes restricciones: sémola de trigo 21.25 – 59.4%, harina de amaranto 25.45 – 49.57%, huevo 15.06 – 15.31%, hoja de amaranto deshidratada 0 – 15.33%, carboximetilcelulosa 0.085 – 0.28% y la mezcla de semolina + harina de amaranto 70.8 – 84.85%. Considerando los objetivos de la investigación, el diseño experimental se construyó de tal manera que permitiera la estimación de efectos principales, así como de interacciones dobles, obteniéndose un total de 16 formulaciones experimentales, las cuales fueron realizadas por duplicado y en orden aleatorio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Diseño Experimental en Mezclas para Formulaciones de Pastas Enriquecidas con Amaranto					
Formulación	Sémola	Harina de amaranto	Huevo	Hoja de amaranto	CMC
1	0.5097	0.2545	0.1506	0.0000	0.0852
2	0.4804	0.2545	0.1531	0.0000	0.1120
3	0.3866	0.3751	0.1531	0.0000	0.0852
4	0.2125	0.4956	0.1531	0.0000	0.1388
5	0.4536	0.2545	0.1506	0.0000	0.1413
6	0.4536	0.2545	0.1531	0.0000	0.1388
7	0.3314	0.3992	0.1506	0.0337	0.0852
8	0.4536	0.2545	0.1506	0.0281	0.1132
9	0.3331	0.3751	0.1531	0.0536	0.0852
10	0.2125	0.4956	0.1519	0.0274	0.1126
11	0.2685	0.4957	0.1506	0.0000	0.0852
12	0.2393	0.4957	0.1531	0.0268	0.0852
13	0.2125	0.4956	0.1506	0.0561	0.0852
14	0.4536	0.2545	0.1519	0.0549	0.0852
15	0.3309	0.3992	0.1519	0.0000	0.1181
16	0.2125	0.4956	0.1506	0.0000	0.1413

V.3 Métodos

V.3.1 Producción de Pastas

De acuerdo al diseño experimental y después de calcular la cantidad necesaria de agua para obtener una humedad final en la masa del 34% (la humedad de todos los ingredientes fue considerada en los cálculos), los ingredientes secos fueron pesados y mezclados con ayuda una batidora profesional (Kitchen Aid® Professional Mixer, Modelo KPM50, USA – velocidad 2), posteriormente se adicionó lentamente el huevo y el agua y se amasó la mezcla por 5 minutos (velocidad 2) para obtener una masa homogénea, la cual fue extruída con una prensa para pasta (Kitchen Aid® Aditamento Modelo 4SNFGA, USA). La pasta producida (tipo codito) fue colocada en una charola perforada y secada en horno de convección de aire a 80°C por 4 horas. Finalmente la pasta se enfrió y empacó en contenedores de plástico y se almacenó a temperatura ambiente hasta su uso. Todas las formulaciones fueron producidas por duplicado.

V.3.2 Evaluación de Calidad de Pastas

V.3.2.1 Tiempo de Cocción

En un vaso de precipitado de 500 ml se colocaron 300 ml de agua destilada y se calentó hasta hervir. Al mismo tiempo se preparó otro vaso de precipitado con agua hirviendo. Se agregaron $25 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ de pasta en el agua hirviendo (sin adicionar sal) y se empezó a contar el tiempo, mientras se agitaba la muestra en el agua para evitar que la pasta se pegara. Una vez que el agua volvió a hervir vigorosamente se mantuvo esta condición durante todo el experimento, tapando parcialmente el vaso de precipitado para reducir la evaporación y de ser necesario se usó el agua del vaso de precipitado extra para mantener por lo menos el 90% del volumen original. Cada 30 s, se tomó una muestra de pasta y se colocó entre dos placas de acrílico o de vidrio y se ejerció presión. En el momento en que ya no se observó un núcleo blanco indicó que el tiempo de cocción fue alcanzado y se registró. El tiempo de cocción se determinó por triplicado en cada una de las formulaciones (AACC 66-50.01, 1990).

V.3.2.2 Pérdidas por cocción

Durante la cocción, parte de la pasta se disuelve en el agua de cocción, mientras mejor sea la red de proteína formada, menor será la pérdida por cocción. Este parámetro se determinó gravimétricamente, para lo cual se taró un vaso de precipitado de 500 ml a 0.01 g. El agua de la cocción de una muestra de 25 g de pasta se transfirió al vaso de precipitado tarado y se sometió a evaporación en un horno de convección de aire a $100 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. El tiempo de secado fue de 20 horas aproximadamente, aunque se observaron variaciones dependiendo de la capacidad del horno y la carga. Al término del secado se enfriaron los vasos de precipitado en un desecador y se pesaron. El peso registrado por cuatro (para convertirlo a porcentaje) equivale al porcentaje de pérdidas por cocción. La determinación se realizó por triplicado para cada formulación (AACC 66-50.01, 1990).

V.3.2.3 Peso después de la cocción

Es el peso ganado por la pasta durante la cocción e indica la cantidad de agua que es absorbida y por lo tanto es un índice de la habilidad de la pasta para hincharse. Cada muestra de pasta se sometió al tiempo de cocción determinado previamente, después se pesó y se calculó el peso después de cocción expresado en porcentaje. La determinación se realizó por triplicado para cada formulación (AACC 66-50.01, 1990).

V.3.2.4 Análisis de Color

El color de la pasta fue determinado usando un espectrofotómetro para colorimetría (Modelo CM-3500d, Konica Minolta Sensing, Japón). Las muestras de pasta se colocaron en un contenedor de acrílico para las mediciones. El color se expresó en términos de L* (luminosidad), que va de 0 (negro) a 100 (blanco) y las coordenadas a* y b*, que representan la variación entre rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente. Se realizaron cinco determinaciones para cada muestra.

V.3.3 Composición Química de las Pastas

V.3.3.1 Humedad

En un plato de aluminio con tapa, previamente tarado, se pesaron exactamente 2 g de muestra de harina y se sometieron a secado por 1 hora a $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ sin tapar, junto con su tapa. Al terminar el periodo de secado, se taparon las muestras dentro del horno, se transfirieron a un desecador para luego pesarlo en cuanto alcanzó temperatura ambiente. El resultado se expresó en porcentaje de la muestra. La determinación se realizó por duplicado (AOAC 926.07, 1997).

V.3.3.2 Cenizas

Se pesaron 3 g de la muestra en una cápsula de porcelana previamente tarada y se incineraron en mufla a 500- 550°C hasta que se obtuvieron cenizas grises claro. La cápsula se enfrió en un desecador y se pesó tan pronto alcanzó temperatura

ambiente (aproximadamente 45 minutos). El resultado se expresó en % de la muestra. La determinación se hizo por duplicado (AOAC 925.11, 1997).

V.3.3.3 Grasa

Se adicionan 50 ml de éter etílico en un vaso Goldfish. Se colocó 1 g de muestra en un cartucho de celulosa y se colocó una torunda de algodón para evitar que saliera la muestra durante la extracción. El cartucho con la muestra se montó en el extractor Goldfish. El vaso y el extractor se montaron en el equipo y se encendieron las parrillas para evaporar el solvente y extraer la grasa. Se realizó la extracción por 4 horas. Al finalizar la extracción se cambió el extractor por uno con fondo y se siguió calentando para recuperar el solvente. El vaso con la muestra extraída y residuos de solvente se colocaron en el horno de convección por 2 horas a 100°C para llevar a sequedad. Finalmente se colocaron los vasos en un desecador hasta que alcanzaron temperatura ambiente y se registró el peso. El contenido de grasa se obtiene con la siguiente expresión:

$$\%grasa = \frac{\text{peso del recipiente y grasa} - \text{peso del recipiente}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

(AOAC 925.12, 1997)

V.3.3.4 Proteína

Se pesaron 0.5 g de muestra y se colocaron dentro de un tubo de digestión Kjeldahl con 0.7 g de HgO o 0.65 g de Hg metálico, 15 g de K₂SO₄ o Na₂SO₄ anhidro y 25 ml de H₂SO₄. Se colocaron los tubos en el digestor Kjeldahl y se calentaron a temperatura media por 1 hora y 1 hora más al máximo calentamiento, hasta que la solución estuviera completamente clara. Terminado el proceso de digestión, se enfriaron y se colocaron en el sistema de destilación, en el cual previamente se le ha colocado en la salida del refrigerante un matraz Erlenmeyer de 500 ml con 50 ml de ácido clorhídrico 0.1 N y unas gotas del indicador rojo de metilo. Las muestras de destilaron por 6 minutos adicionando 100 ml de agua destilada y 50 ml de NaOH 0.1

N. El destilado se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. El nitrógeno presente en la muestra, expresado en porcentaje se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m}$$

En donde:

V = volumen de HCl empleado en la titulación, en ml.

N = normalidad del HCl

m = masa de la muestra en g

0.014 = miliequivalente del nitrógeno.

Para obtener el porcentaje de proteína se multiplica el % de nitrógeno por 6.3 (AOAC 930.25 1997).

V.3.3.5 Fibra Cruda

Se pesaron 0.5 g de muestra y se colocaron en bolsas de celulosa previamente taradas, las cuales se sellaron para evitar que saliera la muestra. Las bolsas se colocaron en un vaso de precipitado con 200 ml de acetona por 10 minutos para extraer la grasa de la muestra. Se sacaron las bolsas de la acetona y se secaron a temperatura ambiente por 5 minutos. Las muestras se colocaron en el carrusel del digestor de fibra (ANKOM 200/220, Fiber Analyzer, New York, US) y se montaron sobre el equipo. Se adicionaron 2000 ml de H₂SO₄ 0.255 N para la digestión ácida por 45 minutos a 100 °C. Transcurridos los 45 minutos se drenó la solución ácida y se realizaron 3 lavados con 2000 ml de agua destilada hirviendo por 5 minutos cada uno. Después de los lavados se adicionó 2000 ml de NaOH 0.313 N para la digestión alcalina por 45 minutos a 100°C. Transcurridos los 45 minutos se drenó la solución alcalina y se realizaron 3 lavados con 2000 ml de agua destilada hirviendo por 5 minutos cada uno. Las bolsas con las muestras se sacaron del digestor y se colocaron en un vaso de precipitado con 200 ml de acetona por 5 minutos. Se sacaron las bolsas de la acetona y se secaron a temperatura ambiente por 5 minutos para posteriormente secarlas en el horno a 105°C por 2 horas. Se enfrían y se registra el peso de las bolsas para después colocarlas en crisoles de porcelana previamente tarados y se incineran a 550°C por 4 horas. Transcurrido el tiempo se sacan de la

mufla y se enfrían en un desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente y se determina su peso. Durante el experimento se utiliza una bolsa vacía como control a la cual se le registra su peso inicial, peso después del secado y peso después de la incineración.

$$\%Fibra Cruda = \frac{(P_s - P_b) - (P_c - P_{cb})}{M} \times 100$$

En donde:

P_s = masa en gramos del residuo seco a 130°C.

P_b = masa en gramos de la bolsa.

P_c = masa en gramos de las cenizas

P_{cb} = masa en gramos de las cenizas del bolsa.

M = masa de la muestra en gramos. (AOAC 930.24 1997).

V.3.3.6 Determinación de Minerales por Espectrofotometría de Absorción Atómica

Se colocó una muestra molida en un matraz Erlenmeyer tapándose con el embudo de condensación de humos. Se agregó ácido nítrico hasta empapar la muestra, calentándose en la campana de extracción, adicionando más ácido nítrico cuando la muestra comenzaba a secarse. Una vez que se dejaron de desprender vapores rojos, se agregaron 5 ml de ácido perclórico, continuando la digestión. Cuando comenzaron a emitirse vapores blancos se suspendió el calentamiento. Se enfrió la muestra resultante de la digestión en un matraz aforado de 250 ml, usando un embudo para evitar que se perdiera la muestra, se lavó perfectamente el matraz con agua destilada y se vertió solo un matraz volumétrico, aforando a 100 ml. Se prepararon soluciones con estándares de minerales, a diferentes concentraciones en partes por millón, para construir curvas de calibración en el espectrofotómetro de absorción atómica y así determinar la concentración de cada mineral en las muestras de pastas (Maldonado, 2005).

V.3.4 Determinación de la Capacidad Antioxidante

V.3.4.1 Proceso de extracción

La extracción de compuestos antioxidantes se realizó en muestras de pastas crudas y cocidas con el objetivo de observar el efecto de la cocción en la actividad antioxidante. Para las muestras de pastas cocidas, se colocaron 15 g de pasta en 300 ml de agua hirviendo con 5 g de sal y se cocieron de acuerdo al tiempo de cocción determinado previamente. La muestra cocida se escurrió, enfrió y congeló para finalmente ser liofilizada (Thermo Electron Corporation, Waltham, MA.). Las muestras se molieron previamente a ser analizadas con ayuda de un molino de café (Black and Decker, Hunt Valley, MD).

El proceso de extracción se adaptó del método propuesto por Li y colaboradores (2007). La muestra de pasta molida (1 g) se mezcló con 10 ml de solución de etanol:agua (80:20 v/v) acidificada con 1% HCl y se colocó en un agitador orbital (Model OS31, Allentown, PA) en la oscuridad a temperatura ambiente por 1.5 h. La mezcla se centrifugó a 7826 g (10,000 rpm, F18-12x50 Rotors, Sorvall RC 6+ Centrifuge) a 4°C por 15 min. Se recuperó el sobrenadante y se almacenó en viales ámbar a 4°C en la oscuridad hasta el momento de su análisis. La extracción se realizó por triplicado.

V.3.4.2 Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se realizó de acuerdo al método descrito por Beta y colaboradores (2005), donde 200 µl del extracto fueron mezclados con 1.5 ml del reactivo Folin-Ciocalteu (diluido 10 veces en agua destilado). Se permitió que la mezcla alcanzara el equilibrio por 5 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron 1.5 ml de solución de carbonato de sodio (60 g/L). Se permitió que la reacción alcance el equilibrio a temperatura ambiente por 2 horas. Se midió la absorbancia de la solución a 725 nm contra un blanco del solvente utilizado para la extracción (etanol:agua (80:20 v/v) acidificada con 1% HCl). Se utilizó ácido

ferúlico como estándar y los resultados se expresaron como μg de equivalentes de ácido ferúlico/g de muestra. Los análisis se condujeron por triplicado.

V.3.4.3 Ensayo DPPH

Se preparó la solución de radical DPPH disolviendo 0.0015 g del radical en 20.5 ml de metanol y aforando con agua destilada a 25 ml. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro Spectra Max 190 (Molecular Devices, USA). La reacción se llevó a cabo en microplacas transparentes de 96 pozos para lo cual se adicionaron 20 μl de los extractos de pastas de amaranto para posteriormente adicionar 200 μl de solución de DPPH. Se preparó una curva de calibración de Trolox en rangos de concentración de 50-800 μM . Se monitoreó la disminución en la absorbancia durante 90 minutos a 520 nm. Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron μmol equivalentes de Trolox por gramos de muestra.

V.3.4.4 Ensayo FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Se preparó en un baño seco a 37°C el reactivo FRAP con 1 ml de una solución 10 mM de 2,4,6, tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ) en 40 mM de HCl, más 1 ml de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 nM y 10 ml de solución amortiguadora de acetato 300mM a pH 3.6. Se prepararon soluciones estándar de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 72, 360, 540, 895, 1079.5, 1259 y 1439 μM . Alícuotas de 25 μl de las muestras y de las distintas concentraciones de FeSO_4 se mezclaron con 175 μl de la solución FRAP y se midió la absorbancia a 595 nm a 0, 4, 10, 30, 60 y 90 minutos contra blancos de solvente y solución amortiguadora, para construir la curva de calibración y calcular la ecuación de regresión a partir de la cual se calcula el poder antioxidante de las muestras, expresándose como μM equivalentes de FeSO_4 por gramo. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro Spectra Max 190 (Molecular Devices, USA). La determinación se hace por triplicado (Yawadio y col., 2008).

V.3.4.5 Ensayo ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)

El ensayo ORAC consiste en medir la disminución en la fluorescencia de la fluorescina por la pérdida de su conformación cuando sufre daño oxidativo causado por la fuente de radicales peróxido 2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro (AAPH). Este método mide la capacidad de los compuestos antioxidantes en una muestra para proteger a la fluorescina del daño oxidativo, retardando la pérdida de fluorescencia (Zulueta y col., 2009). Este ensayo es el único método que combina el tiempo y el grado de inhibición en una única cantidad, a través del área bajo la curva de fluorescencia a través del tiempo (Huang y col. 2002). El mecanismo de la reacción se basa en la transferencia de un átomo de hidrógeno del antioxidante al radical libre (Sun y Tanumihardjo, 2007).

Se utilizó un lector de fluorescencia en microplaca FLx800 (BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT) con filtros de fluorescencia de longitud de onda de excitación de 485/20 nm y longitud de onda de emisión de 528/20 nm. El instrumento se monitoreó a través del software KC4 3.0, versión 29. Las mediciones se realizaron en microplacas de 96 pozos negras con fondo transparente. Los sobrenadantes se utilizaron a un factor de dilución de 400, una solución de rutina 5, 10 y 20 μM fue usada como control y se prepararon estándares de Trolox a 0, 6.25, 12.5 y 50 μM . La reacción se llevó a cabo a 37°C, temperatura necesaria para el inicio de la descomposición térmica del radical AAPH en solución buffer de fosfato (SBF) (75 mM). En cada pozo se colocaron 150 μl de fluoresceína (FL) (8.16×10^{-2} μM) y 25 μl de muestra, blanco (SBF), estándar (soluciones de Trolox) o control de muestra (soluciones de rutina). La microplaca se tapó con una película adhesiva y se incubó a 37°C por 15 minutos con un periodo de agitación de 3 minutos. Transcurrido el tiempo de incubación se adicionaron 25 μl de AAPH (153 mM). La fluorescencia fue medida inmediatamente después de la adición del radical con mediciones cada minuto por 50 minutos. Una ecuación de regresión entre la concentración de Trolox y el área bajo la curva de fluorescencia se construyó. La fórmula para obtener el área bajo la curva (AUC) es la siguiente:

$$AUC = 0.5 + \frac{f_1}{f_0} + \dots + \frac{f_i}{f_0} + \dots + \frac{f_{49}}{f_0} + 0.5 \frac{f_{50}}{f_0}$$

En donde f_0 = lectura de fluorescencia inicial a 0 min, y f_i = lectura de fluorescencia inicial a i min.

$$AUC_{neta} = AUC_{blanco} - AUC_{muestra}$$

Los valores finales de ORAC se expresaron como equivalentes de Trolox y se determinaron de acuerdo a la curva estándar. La prueba se condujo por triplicado (Hirawan y col., 2010).

V.3.5 Evaluación Sensorial

El objetivo de realizar una prueba sensorial para este proyecto fue evaluar la respuesta personal (de preferencia o aceptación) de consumidores potenciales hacia la pasta elaborada. Esto se realiza a través de pruebas afectivas, las cuales han tomado cada vez más importancia en la industria de los alimentos como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos. Por lo general, estas pruebas involucran de 50 – 500 participantes divididos en varias sesiones. Los participantes representan parte del mercado objetivo del producto en desarrollo. Dentro de las diferentes pruebas afectivas, se propuso utilizar una prueba de clasificación (Ranking Test) con un análisis de Friedman, para un diseño en bloques balanceado completamente al azar; para lo cual se utilizaron 50 panelistas (consumidores potenciales) con un entrenamiento sencillo, los cuales clasificaron las pastas de acuerdo a su nivel de preferencia para 3 tipos de atributos sensoriales: apariencia, sabor y textura, así como una evaluación global del producto. (Meilgaard y col., 2006). Debido a la cantidad de pastas que se elaboraron como parte del diseño experimental, se seleccionaron siete formulaciones para participar en la evaluación sensorial, de acuerdo a los resultados de las pruebas de calidad. Las siete formulaciones de pasta de amaranto fueron divididas en dos grupos: 1) pastas amarillas: con harina de amaranto y 2) pastas verdes: con harina y hoja de amaranto (Cuadro 6). La intención es identificar para cada tipo de pasta, la que tiene la mayor preferencia por parte de los consumidores.

Cuadro 6. Grupos de Pastas para Evaluación Sensorial			
Pastas Amarillas		Pastas Verdes	
Fórmula	Código Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Fórmula	Código Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto
3	50:50/0	7	45:55/5
4	30:70/0	8	65:35/4
5	65:35/0	14	65:35/8
15	45:55/0		

V.3.5.1 Metodología para la prueba de evaluación sensorial

1. Someter a cocción cada una de las pastas de la prueba. El tiempo de cocción será el determinado previamente en las pruebas de calidad para cada formulación. Para cada 100 g de pasta se utiliza 1 L de agua con 10 g de sal.
2. Transcurrido el tiempo de cocción, escurrir la pasta y dejarla reposar por 2 minutos.
3. Servir 15 g de pasta cocida en los platos desechables previamente codificados y colocar un tenedor.
4. En el área de degustación, colocar los platos de la pasta, una servilleta, un vaso con agua y la hoja de evaluación.
5. Hacer pasar a los evaluadores para que realicen su prueba.
6. Terminada la prueba, recoger la hoja de evaluación y entregar el regalo de agradecimiento a cada participante.

PRUEBA DE CLASIFICACION PREFERENCIA DE PASTAS	
Nombre:	Fecha:
Tipo de muestra: <i>Pastas de amaranto</i>	
Instrucciones:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Recibe tu grupo de muestras de pastas, observa el código de cada muestra recibida. 2. Prueba cada una de las muestras, de izquierda a derecha y determina el grado de preferencia de los atributos sensoriales que se te describen más abajo. Espera al menos 30 segundos entre cada muestra y enjuaga tu paladar con agua según sea necesario. 3. Escribe "1" en el cuadro de la muestra que encuentres que es más de tu agrado para cada uno de los atributos. Escribe "2" para la siguiente muestra de tu agrado, "3" para la siguiente y "4" para la muestra de menor agrado. 4. Si dos o más muestras te parecen iguales en agrado, elige una para clasificar las muestras. 	

Código	_____	_____	_____	_____
	Apariencia			
Color	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suavidad de la superficie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedazos rotos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sabor			
Sabor a pasta cocida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Salado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Textura			
Pegajosidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Firmeza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elasticidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Evaluación global	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentarios:

Figura 4. Formato Evaluación Sensorial Afectiva

V.3.6 Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza con 95% de nivel de confianza. Para el diseño estadístico experimental en mezclas de las fórmulas de pastas se realizó la estimación de efectos principales e interacciones dobles, así como comparación de medias a través del estadístico de prueba Tukey, para las pruebas bromatológicas, de capacidad antioxidante y evaluación sensorial.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1 Pruebas de calidad de las pastas

VI.1.1. Tiempo de cocción

El Cuadro 7 presenta los resultados de las pruebas de calidad para las pastas con amaranto. Las pastas enriquecidas con ingredientes de amaranto registraron tiempos de cocción menores a la pasta control con sémola de trigo (13 min). El análisis estadístico reveló que la cantidad de sémola de trigo, harina de amaranto, hoja de amaranto y la carboximetilcelulosa (CMC), así como las interacciones entre sémola de trigo y harina de amaranto, sémola de trigo y hoja de amaranto, y harina de amaranto y hoja de amaranto tienen efectos significativos sobre el tiempo de cocción. Se encontró que existe una correlación negativa entre las cantidades de harina de amaranto y sémola de trigo, donde una cantidad baja de sémola con una cantidad alta de harina de amaranto produce un tiempo de cocción bajo. Para la formulación 1, donde un 33% de la sémola es sustituida por harina de amaranto se obtiene un tiempo de cocción de 9.5 min, mientras que para la formulación 4, con 70% de la sémola sustituida el tiempo de cocción cae hasta 7.8 min. De la misma manera cantidades de hoja de amaranto mayores a 8%, en combinación con proporciones de sémola de trigo entre 20 y 40% mantienen bajos tiempos de cocción. Las pastas con hoja de amaranto deshidratada registraron tiempos de cocción entre 7.17 – 8.75 min. Se observó que al aumentar la CMC por arriba de 8.5% se eleva el tiempo de cocción.

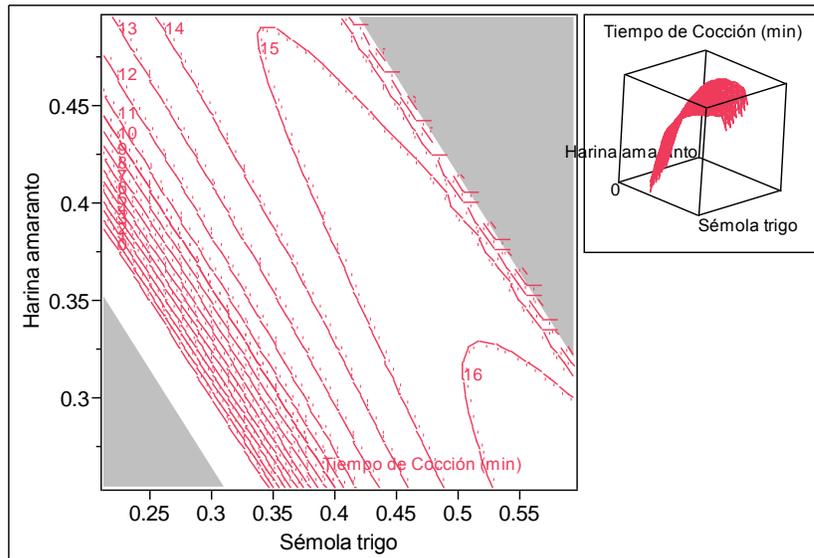


Fig. 5. Curvas de nivel del efecto de la harina de amaranto y la sémola de trigo en el tiempo de cocción de las pastas.

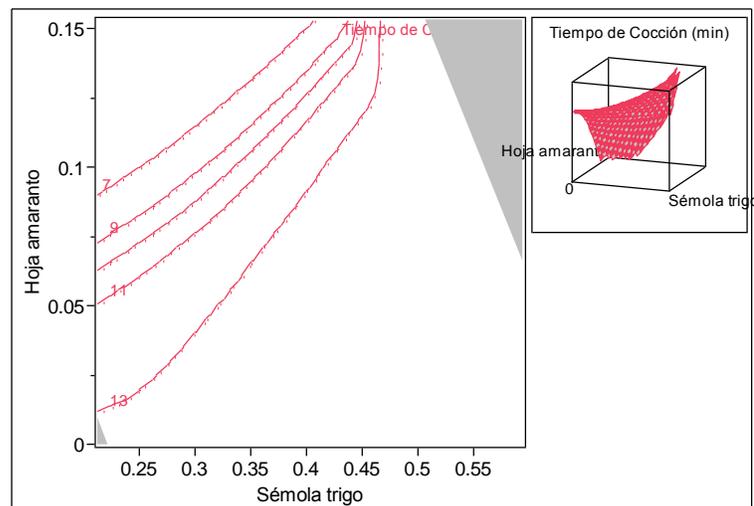


Fig. 6. Curvas de nivel del efecto de la hoja de amaranto y la sémola de trigo en el tiempo de cocción de las pastas.

Cuadro 7. Calidad de Pastas Enriquecidas con Amaranto

Formula	Sémola	Harina de amaranto	Huevo	Hoja de amaranto	CMC	Tiempo de cocción (min)	Pérdidas por cocción (%)	Peso después de cocción (%)
1	0.5097	0.2545	0.1506	0.0000	0.0852	9.5	6.98	273
2	0.4804	0.2545	0.1531	0.0000	0.1120	9.4	7.90	281
3	0.3866	0.3751	0.1531	0.0000	0.0852	8.1	7.25	270
4	0.2125	0.4956	0.1531	0.0000	0.1388	7.8	9.24	253
5	0.4536	0.2545	0.1506	0.0000	0.1413	9.4	6.93	282
6	0.4536	0.2545	0.1531	0.0000	0.1388	9.8	7.97	276
7	0.3314	0.3992	0.1506	0.0337	0.0852	8.8	8.67	270
8	0.4536	0.2545	0.1506	0.0281	0.1132	8.5	7.84	268
9	0.3331	0.3751	0.1531	0.0536	0.0852	7.5	9.77	251
10	0.2125	0.4956	0.1519	0.0274	0.1126	8.1	8.71	258
11	0.2685	0.4957	0.1506	0.0000	0.0852	7.8	8.63	268
12	0.2393	0.4957	0.1531	0.0268	0.0852	7.8	10.15	253
13	0.2125	0.4956	0.1506	0.0561	0.0852	7.2	9.82	256
14	0.4536	0.2545	0.1519	0.0549	0.0852	8.3	8.56	267
15	0.3309	0.3992	0.1519	0.0000	0.1181	7.8	7.90	291
16	0.2125	0.4956	0.1506	0.0000	0.1413	8.0	9.27	278
Control	0.8490	0.0000	0.1510	0.0000	0.0000	13.0	6.03	292

La disminución en los tiempos de cocción de pastas con ingredientes diferentes a la sémola ha sido observada en múltiples trabajos de investigación, por ejemplo Aravind y colaboradores (2012) encontraron pequeñas reducciones en los tiempos de cocción de pastas de trigo duro enriquecidas con fibra dietaria insoluble. Chillo y colaboradores (2007) encontraron tiempos de cocción de 6 a 7.5 min para pastas con harina de amaranto, quinoa, haba y chícharo, mientras que Schoenlechner y colaboradores (2010) reportan tiempos de cocción que van desde los 6.8 hasta los 11 minutos para pastas sin gluten a base de amaranto, quinoa y trigo sarraceno. Gallegos-Infante y colaboradores (2010) desarrollaron pastas adicionadas con frijol, las cuales tuvieron tiempos de cocción entre 3.24 y 4.80 minutos. Este efecto negativo en los tiempos de cocción de las pastas se debe a la reducción en el contenido total de gluten, así como a inhibición del desarrollo del mismo. Durante el procesado, debido a la presencia de otros ingredientes que interfieren en la red de

gluten y almidón, se obtiene una matriz débil que permite una mayor y más rápida absorción de agua, disminuyendo el tiempo de cocción (Aravind y col. 2012).

VI.1.2. Pérdidas por cocción

Cada uno de los ingredientes de la formulación de las pastas resultó tener un efecto significativo sobre el porcentaje de pérdidas de cocción. Se observó que cada componente al aumentar de su concentración media (considerando las restricciones) incrementa las pérdidas por cocción. El valor mínimo y máximo de pérdidas por cocción registrados fueron para la fórmula control (6.03%) y la fórmula 12 (10.15%). Se observa una clara tendencia a obtener altos porcentajes de pérdidas por cocción en formulaciones que incluyen altas proporciones de harina de amaranto en combinación con hoja de amaranto. La pasta con amaranto con las menores pérdidas fue la formulación 1, con la menor proporción de harina de este pseudocereal.

El porcentaje de pérdidas por cocción registradas para las pastas con ingredientes de amaranto son similares a las reportadas en la literatura para pastas con amaranto y otros ingredientes libres de gluten (Schoenlechner y col., 2010; Chillo y col. 2008; Sudha y Leelavathi, 2011) y mucho menores a las reportadas para pastas con frijol (Gallegos-Infante y col., 2010). De igual manera que con el tiempo de cocción, la adición de ingredientes no convencionales, impacta negativamente en el porcentaje de pérdidas por cocción, al inhibir la formación de una red de gluten capaz de atrapar el almidón gelatinizado durante la cocción, provocando que éste sea arrastrado y solubilizado en el agua de cocción.

VI.1.3. Peso después de la cocción

Se observa una disminución en el peso después de la cocción en las pastas con ingredientes de amaranto con respecto a la formulación control (292 %). El valor máximo y mínimo de peso después de la cocción registrados fueron para la formulación 15 (291%) y la formulación 9 (251%). Las pastas que incluyen la hoja de amaranto registraron los menores pesos después de la cocción.

Los experimentos realizados muestran un efecto negativo por la adición de ingredientes de amaranto, al disminuir la capacidad de la pasta para absorber agua durante la cocción. Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Schoenlechner y colaboradores (2010) para pastas sin gluten y los de Borneo y Aguirre (2008) para pastas con hoja de amaranto deshidratada. Este fenómeno se puede explicar a partir del hecho de que otros compuestos presentes en las pastas, como la fibra, compiten por el agua con el almidón durante la cocción, impidiendo o limitando su hinchamiento (Aravind y col. 2012). El peso después de la cocción está relacionado con el rendimiento final de la pasta, por lo tanto, es conveniente considerar el uso de agentes que contribuyan a la retención de agua para contrarrestar el efecto negativo de estos ingredientes. En el caso de las pastas elaboradas en este trabajo, se podría sugerir en incrementar la cantidad de carboximetilcelulosa.

VI.1.4. Análisis de color

El Cuadro 8 resume los resultados para los parámetros de color de las formulaciones realizadas. La adición de harina y hoja de amaranto, así como la reducción de la sémola de trigo provoca un descenso en los valores de luminosidad, L^* , de las pastas. De acuerdo al análisis estadístico además de los efectos de los ingredientes por separado, existen efectos significativos en las interacciones sémola y hoja de amaranto, harina de amaranto y hoja de amaranto, y CMC y hoja de amaranto (Figuras 5, 6 y 7). En el intervalo en que se varió la proporción de huevo, no se encontraron efectos significativos sobre este parámetro de color.

Formula	Sémola	Harina de amaranto	Huevo	Hoja de amaranto	CMC	L*	a*	b*
1	0.5097	0.2545	0.1506	0.0000	0.0852	90.81	6.79	33.94
2	0.4804	0.2545	0.1531	0.0000	0.1120	91.03	6.77	35.63
3	0.3866	0.3751	0.1531	0.0000	0.0852	87.59	7.30	33.14
4	0.2125	0.4956	0.1531	0.0000	0.1388	82.86	8.09	30.64
5	0.4536	0.2545	0.1506	0.0000	0.1413	89.41	7.18	34.48
6	0.4536	0.2545	0.1531	0.0000	0.1388	88.75	7.22	35.08
7	0.3314	0.3992	0.1506	0.0337	0.0852	65.63	-0.60	39.53
8	0.4536	0.2545	0.1506	0.0281	0.1132	66.37	-1.89	40.29
9	0.3331	0.3751	0.1531	0.0536	0.0852	58.78	-0.54	36.74
10	0.2125	0.4956	0.1519	0.0274	0.1126	66.15	0.23	34.54
11	0.2685	0.4957	0.1506	0.0000	0.0852	84.28	8.08	32.04
12	0.2393	0.4957	0.1531	0.0268	0.0852	65.35	0.28	36.61
13	0.2125	0.4956	0.1506	0.0561	0.0852	55.00	-0.40	31.18
14	0.4536	0.2545	0.1519	0.0549	0.0852	58.84	-1.84	38.08
15	0.3309	0.3992	0.1519	0.0000	0.1181	92.34	5.23	29.65
16	0.2125	0.4956	0.1506	0.0000	0.1413	83.02	7.61	30.62
Control	0.8490	0.0000	0.1510	0.0000	0.0000	97.10	5.46	36.39

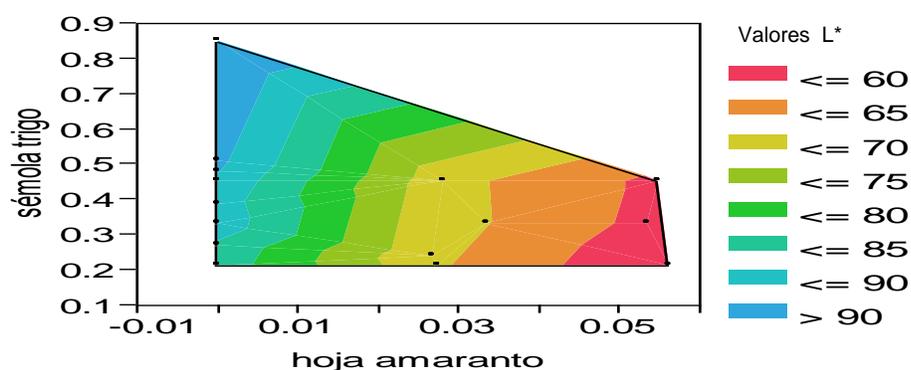


Fig. 7 Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores de L* de pastas con amaranto.

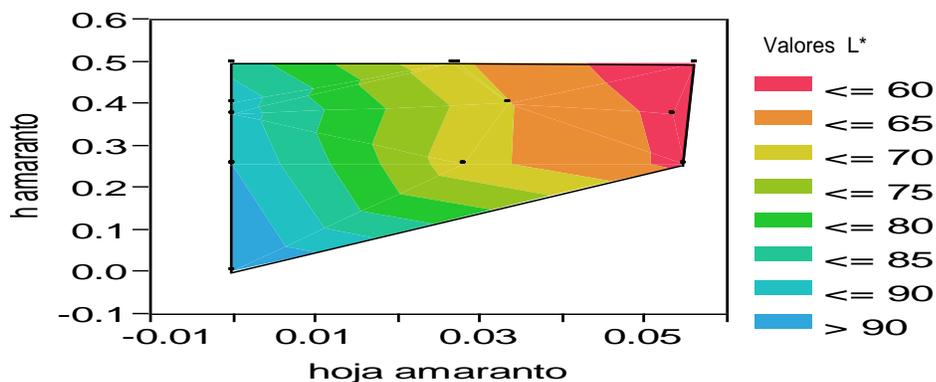


Fig. 8 Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores de L^* de pastas con amaranto.

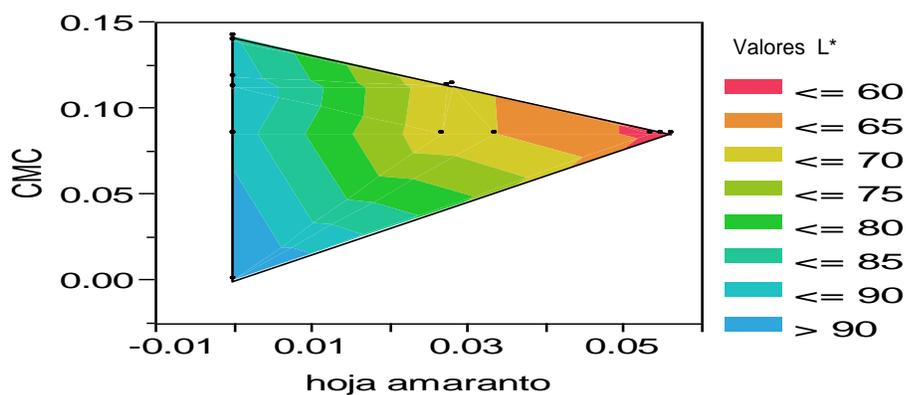


Fig. 9 Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores L^* de pastas con amaranto.

Con respecto a la coordenada rojo-verde, a^* , se observaron efectos significativos de la sémola, harina y hoja de amaranto, así como de las interacciones dobles entre sémola y hoja de amaranto, harina de amaranto y hoja de amaranto, y CMC y hoja de amaranto (Figura 8, 9 y 10). Al contrastar el color de las pastas elaboradas con harina de amaranto, contra la pasta control, se observa que los valores de la coordenada a^* se desplazan ligeramente hacia tonalidades rojas. Por otro lado, las pastas con hoja de amaranto, obtuvieron valores negativos de a^* , donde comienzan las tonalidades verdes. De igual manera que en el caso de la luminosidad, el huevo no mostró efectos significativos.

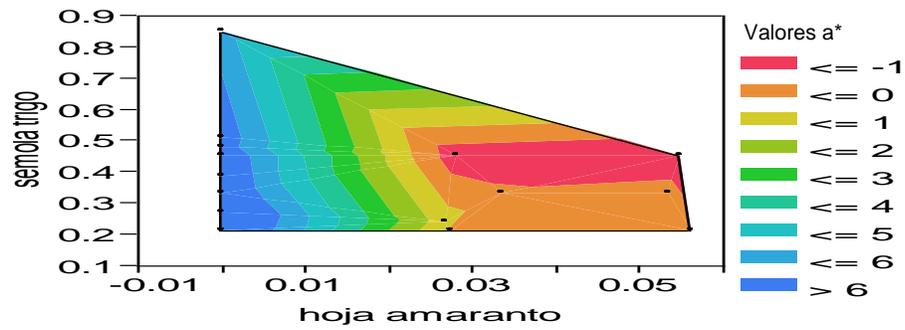


Fig. 10 Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores a^* de pastas con amaranto.

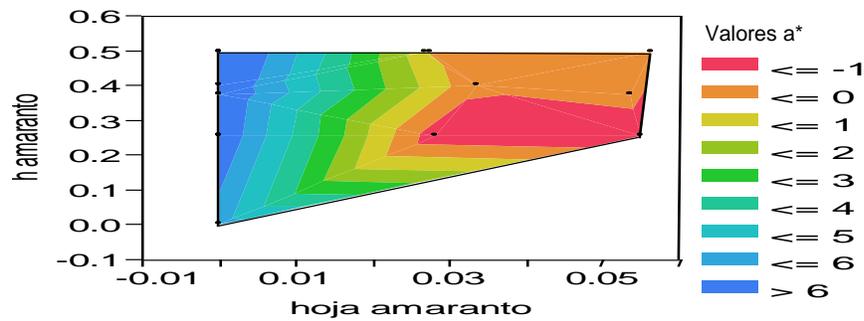


Fig. 11 Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores a^* de pastas con amaranto.

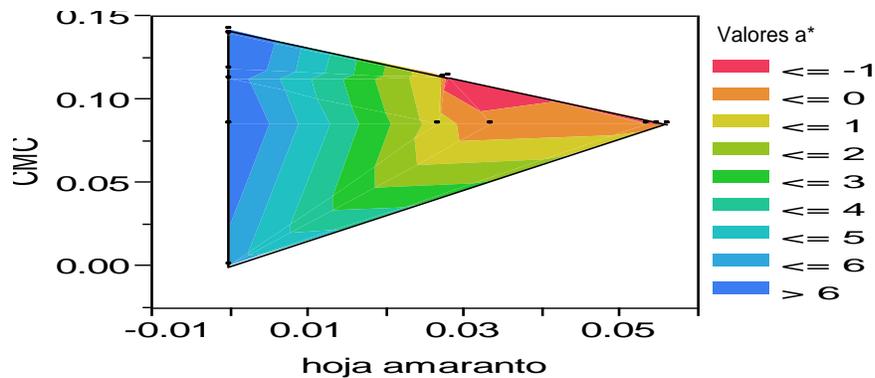


Fig. 12 Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores a^* de pastas con amaranto.

Para la coordenada amarillo-azul, b^* , el análisis estadístico identificó efectos significativos de la sémola, harina y hoja de amaranto, así como de las interacciones dobles entre sémola y hoja de amaranto, harina de amaranto y hoja de amaranto, y CMC y hoja de amaranto (Figuras 11, 12 y 13). Las pastas enriquecidas con harina de amaranto mostraron tonalidades menos amarillas en contraste con la pasta control. Las pastas con hoja de amaranto mostraron valores similares a los de la pasta control, pero más amarillos que los de la fórmula de sémola de trigo. El huevo no mostró efectos significativos.

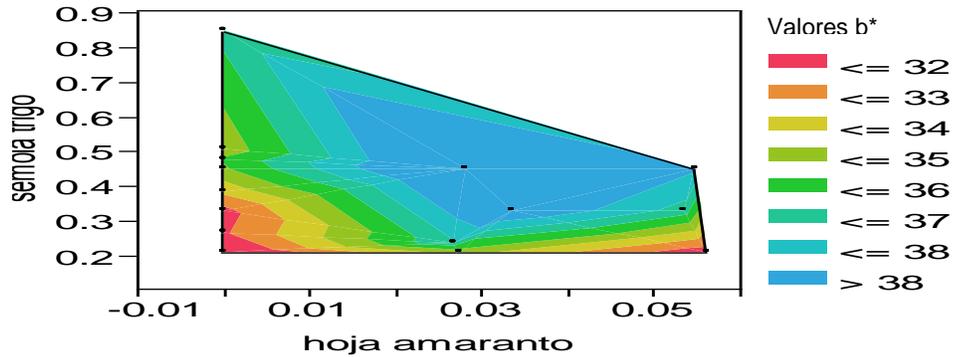


Fig. 13 Efecto de la interacción sémola de trigo y hoja de amaranto sobre los valores b^* de pastas con amaranto.

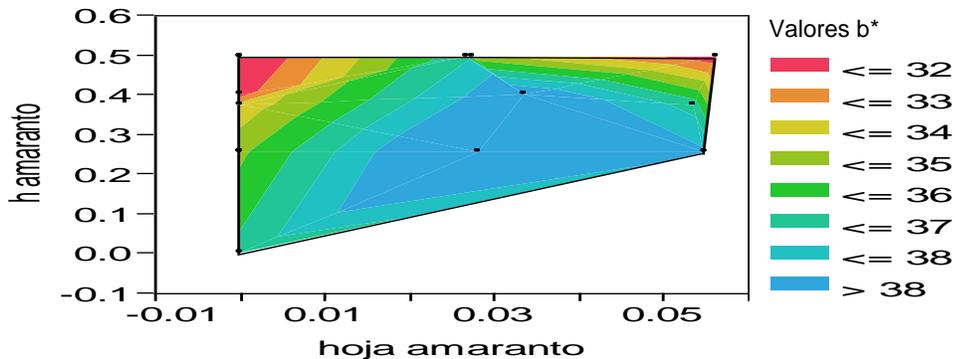


Fig. 14 Efecto de la interacción harina de amaranto y hoja de amaranto sobre los valores b^* de pastas con amaranto.

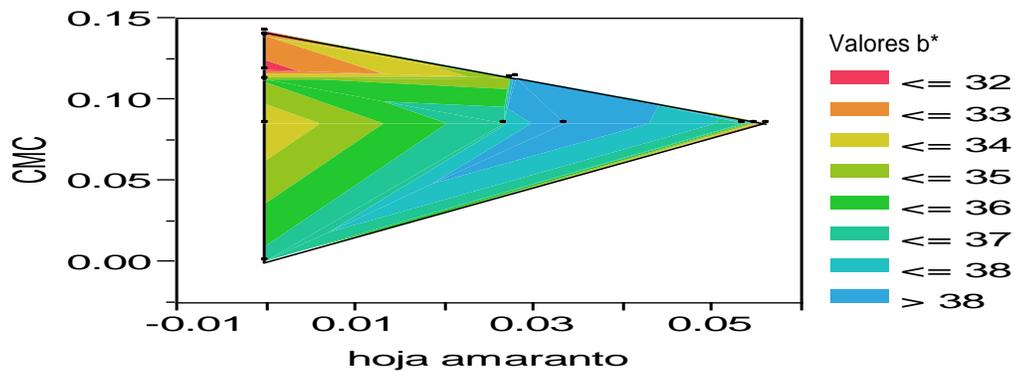


Fig. 15 Efecto de la interacción CMC y hoja de amaranto sobre los valores b* de pastas con amaranto.

VI.1.5 Selección de formulaciones de pastas

Con base en el análisis estadístico de los resultados de las pruebas de calidad y color, se seleccionaron siete formulaciones de pasta con amaranto para evaluar su composición química, capacidad antioxidante y atributos sensoriales. Cuatro de las formulaciones seleccionadas contienen únicamente harina de amaranto como elemento de enriquecimiento (Formulaciones 3, 4, 5 y 15) y las tres restantes contienen harina y hoja de amaranto (Formulaciones 7, 8 y 14). En el Cuadro 9 se muestra las formulaciones que fueron elegidas y la pasta control a base de sémola de trigo. A partir de este punto se utilizará el código de la pasta para identificar a la formulación evaluada y reportar sus resultados.

Cuadro 9. Fórmulas de Amaranto Seleccionadas.					
Código Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Fórmula	Sémola	Harina de amaranto	Huevo	Hoja de amaranto
50:50/0	3	0.3866	0.3751	0.1531	0.0000
30:70/0	4	0.2125	0.4956	0.1531	0.0000
65:35/0	5	0.4536	0.2545	0.1506	0.0000
45:55/5	7	0.3314	0.3992	0.1506	0.0337
65:35/4	8	0.4536	0.2545	0.1506	0.0281
65:35/8	14	0.4536	0.2545	0.1519	0.0549
45:55/0	15	0.3309	0.3992	0.1519	0.0000
100:0/0	Control	0.8490	0.0000	0.1510	0.0000

VI.2 Composición química

Con el objetivo de conocer el contenido nutrimental de las formulaciones de pasta de amaranto seleccionadas, se realizaron los análisis proximales para proteína, grasa (extracto etéreo), fibra cruda, cenizas y humedad. En el cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos, donde se puede apreciar que el enriquecimiento con ingredientes de amaranto tiene un efecto positivo sobre el contenido de proteína, grasa, fibra cruda y cenizas. Se logró incrementar hasta un 3.91% el contenido de proteína, 3.08% el aporte de grasa, 3.42% el contenido de fibra cruda y 1.92% de las cenizas, siendo este último parámetro indicador de un incremento en el contenido de minerales. Las pastas con harina y hoja de amaranto mostraron los mayores contenidos de proteína, fibra cruda y cenizas, mientras que para el porcentaje de grasa, la pasta con 70% de harina de amaranto fue la que presentó el mayor valor.

Fórmula Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra Cruda (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
50:50/0	17.26±0.17	4.27±0.19	2.31±0.03	1.69±0.03	69.60±0.01
65:35/0	16.43±1.17	3.73±0.02	2.58±0.79	1.51±0.03	71.60±1.07
45:55/5	18.02±1.01	4.74±0.04	4.14±0.72	2.50±0.01	65.85±0.97
65:35/4	19.04±0.06	4.30±0.20	2.48±0.01	2.21±0.05	66.96±0.01
65:35/8	18.17±0.16	4.31±0.55	2.80±0.57	2.82±0.08	67.53±0.42
45:55/0	15.88±0.90	4.25±0.05	1.62±0.38	1.56±0.08	72.74±0.06
30:70/0	17.51±0.32	5.20±0.10	2.55±0.20	1.89±0.19	67.96±0.54
100:0/0	15.13±1.12	2.12±0.10	0.72±0.29	0.90±0.01	75.88±0.97

Uno de los objetivos principales de este trabajo de investigación era mostrar el potencial de la harina y la hoja de amaranto para incrementar el aporte nutrimental de alimentos procesados como la pasta. Los resultados obtenidos de los análisis proximales confirman un mayor contenido de nutrientes en las pastas enriquecidas con amaranto en comparación con la pasta control. Pastas comerciales, a base de trigo, reportadas por la USDA en su base de datos en línea (<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/list>, 2012), así como la pasta multigrano con amaranto de la compañía Orgran (<http://www.orgran.com/products/97/>, 2012) la cual

contiene 8% de proteína, 1.6% de lípidos y 3% de fibra, presentan valores significativamente menores a los obtenidos para las pastas de amaranto de esta investigación. El contenido de proteína de las pastas desarrolladas es similar al reportado por Gallegos-Infante y colaboradores (2010) para pastas con 30% de frijol.

Además de los análisis bromatológicos se realizó la determinación y cuantificación de hierro, zinc, magnesio, calcio y potasio por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se muestran en el Cuadro 11 donde se puede observar que tanto la harina de amaranto como la hoja de amaranto aumentan el contenido de minerales de las pastas, en comparación con la pasta control.

Cuadro 11. Contenido de minerales en pastas de amaranto en mg/kg de producto					
Fórmula Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Hierro (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Calcio (mg/kg)	Potasio (mg/kg)
50:50/0	53	35.4	2652	1400	2870
65:35/0	57	32.9	1824	6650	3150
45:55/5	81	124.6	3618	1680	12420
65:35/4	71	36.4	3240	1680	9450
65:35/8	127	50.4	2016	1680	4060
45:55/0	53	44.3	2295	2240	3220
30:70/0	46	59.4	3780	4340	5250
100:0/0	53	45.1	1452	1820	3780

Aunado al incremento en el contenido de macronutrientes, los resultados revelaron un efecto positivo en la cantidad de minerales de las pastas con amaranto, observándose mayores niveles de todos los minerales evaluados, en comparación con los de la pasta control. Destaca la hoja de amaranto como factor para el incremento del contenido de hierro, zinc y potasio. Sin embargo, estos resultados deben ser considerados con cautela, pues aunque se lograron altos contenidos de micronutrientes, es indispensable considerar la biodisponibilidad que éstos puedan tener. Se sabe que los vegetales de hoja verde, como la hoja de amaranto, tienen pobres porcentajes de biodisponibilidad de minerales, especialmente del hierro, debido a la presencia de compuestos que inhiben la absorción de estos compuestos,

como los oxalatos, taninos y fitatos (Kumari y colaboradores, 2004). Estos porcentajes de biodisponibilidad pueden ser incrementados por diversos mecanismos, por ejemplo la presencia natural de vitaminas como el ácido ascórbico favorece su absorción, así mismo el escaldado y la cocción tienen un efecto positivo en la biodisponibilidad de minerales al disminuir significativamente los factores antinutricionales (Flyman y Afolayan, 2006). Aunque sería necesario una determinación del porcentaje de biodisponibilidad de minerales en las pastas con amaranto podemos inferir que si tendremos porcentajes importantes de minerales capaces de ser absorbidos dado que las hojas de amaranto utilizadas fueron sometidas a un proceso de escaldado previo a su secado y a que el producto final requiere una cocción para su consumo.

VI.3 Capacidad antioxidante *in vitro*

VI.3.1 Fenoles Totales

Todas las formulaciones de pasta mostraron mayor contenido de fenoles totales que la muestra de pasta control, con 100% sémola de trigo (Cuadro 12 y Figura 14). Las formulaciones con hoja de amaranto deshidratada mostraron las mayores concentraciones de compuestos fenólicos, seguidos por la formulación con 70% de harina de amaranto. Se observó que el proceso de cocción produce una reducción en el contenido de fenoles de las pastas de amaranto. La formulación control mostró la menor reducción de compuestos fenólicos (3.46%), mientras que la fórmula 45:55 sémola:harina de amaranto con 5% de hoja de amaranto mostró la mayor reducción (26.22%), lo cual puede estar atribuido al hecho de que la matriz proteica en la pasta control es más fuerte, debido a la presencia de una mayor cantidad de gluten, disminuyendo las posibles lixiviaciones y descomposición térmica de compuestos fenólicos.

Formulación Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Pasta cruda Equivalentes de Ácido Ferúlico ($\mu\text{g EAF/g}$)	Pasta cocida Equivalentes de Ácido Ferúlico ($\mu\text{g EAF/g}$)	Pérdida de compuestos fenólicos por cocción (%)
50 : 50 / 0	1787.60 \pm 19.36	1483.72 \pm 26.20	17.00
65 : 35 / 0	1546.51 \pm 14.52	1218.60 \pm 13.95	21.20
45 : 55 / 5	2912.40 \pm 18.80	2148.84 \pm 25.90	26.22
65 : 35 / 4	2493.02 \pm 26.20	1999.22 \pm 9.68	19.81
65 : 35 / 8	3373.64 \pm 55.49	2628.68 \pm 56.31	22.08
45 : 55 / 0	1572.09 \pm 36.25	1331.78 \pm 35.75	15.29
30 : 70 / 0	2071.32 \pm 85.96	1507.75 \pm 21.98	27.21
100 : 0 / 0	986.82 \pm 11.47	952.71 \pm 14.77	3.46

Las pastas enriquecidas con harina de amaranto mostraron valores de fenoles totales similares a los reportados por Hirawan y colaboradores (2010) para pastas integrales comerciales de Canadá, así como los reportados por Fares y colaboradores (2010) para pastas de trigo duro enriquecidas con fracciones de salvado. La cocción de la pasta produce una reducción significativa en el contenido de compuestos fenólicos, a pesar de ello las pastas elaboradas con harina y hoja de amaranto deshidratada mostraron un mayor contenido de compuestos fenólicos, aún después de la cocción, que las reportadas por Aravind y colaboradores (2012) para espagueti con fibra dietaria.

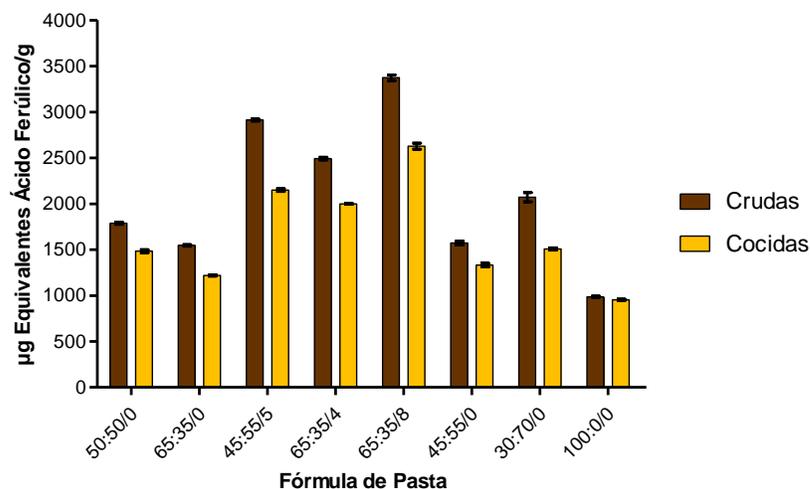


Fig. 16. Fenoles totales, expresados en equivalentes de ácido ferúlico por gramo ($\mu\text{g EAF/g}$), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada

VI.3.2 DPPH

Para el ensayo de DPPH no se observó un efecto positivo en la capacidad antioxidante por la adición de ingredientes de amaranto a las pastas crudas, al contrastar los resultados con la pasta control (Cuadro 13 y Figura 15). En contraste con otros ensayos de capacidad antioxidante, se observó un ligero incremento en la capacidad antioxidante para algunas formulaciones con ingredientes de amaranto, una vez que éstas fueron sometidas a cocción. La pasta a base de sémola de trigo presentó las mayores pérdidas de capacidad antioxidante por efecto del tratamiento térmico. La pasta cocida con mayor capacidad antioxidante fue la pasta con 35% de harina de trigo y 8% de hoja de amaranto.

Los resultados del ensayo DPPH, muestran una mayor capacidad antioxidante de las pastas de amaranto en comparación con las reportadas para pastas con fibra dietaria (Aravind y col., 2012), pastas fortificadas con algas marinas japonesas (Prabhasankar y col., 2009) y pastas integrales comerciales de Canadá (Hirawan y col., 2010).

Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Pasta cruda DPPH (μmol ET/g)	Pasta cocida DPPH (μM ET/g)	Cambio en la capacidad antioxidante por cocción (%)
50 : 50 / 0	25.04±2.80	25.58±1.86	2.13
65 : 35 / 0	24.40±1.94	25.52±1.89	4.59
45 : 55 / 5	26.26±1.02	26.51±1.33	0.96
65 : 35 / 4	26.75±1.90	26.98±0.91	0.87
65 : 35 / 8	30.52±2.78	29.65±1.54	-2.86
45 : 55 / 0	27.31±1.04	26.83±1.23	-1.75
30 : 70 / 0	25.48±2.29	23.20±1.42	-8.93
100 : 0 / 0	32.82±1.33	26.14±1.53	-20.35

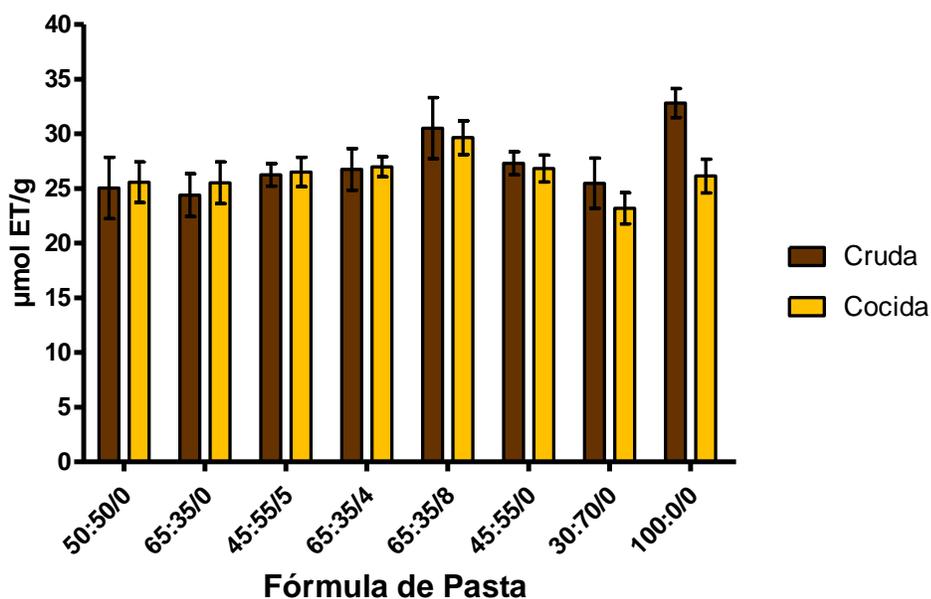


Fig. 17. DPPH, expresado en μmol equivalentes de Trolox por gramo ($\mu\text{mol ET/g}$), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada

VI.3.3 FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

El ensayo de FRAP reveló un incremento en la capacidad antioxidante de las pastas cuando se enriquecen con ingredientes de amaranto, además que la cocción tiene un efecto negativo sobre el potencial antioxidante (Cuadro 14 y Figura 16). Las pastas que tuvieron la mayor retención de su capacidad antioxidante fueron las pastas con hoja de amaranto. La pasta cocida con el mayor valor de FRAP fue la que contiene 55% de harina y 5% de hoja de amaranto ($32.533 \pm 0.94 \mu\text{M EFeSO}_4/\text{g}$) y de menor capacidad antioxidante fue la pasta control ($8.361 \pm 0.30 \mu\text{M EFeSO}_4/\text{g}$).

Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Pasta cruda FRAP ($\mu\text{M EFeSO}_4/\text{g}$)	Pasta cocida FRAP ($\mu\text{M EFeSO}_4/\text{g}$)	Pérdida de capacidad antioxidante por cocción (%)
50 : 50 / 0	16.43 \pm 0.62	9.35 \pm 0.30	43.1
65 : 35 / 0	16.50 \pm 0.30	9.30 \pm 0.23	43.6
45 : 55 / 5	39.77 \pm 0.70	32.53 \pm 0.94	18.2
65 : 35 / 4	42.36 \pm 0.66	34.15 \pm 1.35	19.4
65 : 35 / 8	50.45 \pm 0.69	47.97 \pm 1.15	4.9
45 : 55 / 0	14.80 \pm 0.41	11.29 \pm 0.48	23.7
30 : 70 / 0	15.24 \pm 1.14	7.78 \pm 0.23	50.3
100 : 0 / 0	10.26 \pm 0.64	8.36 \pm 0.30	18.5

Hasta donde se ha revisado no existen reportes de capacidad antioxidante de pastas por el ensayo de FRAP con los cuales contrastar nuestros resultados, lo que pone de manifiesto la originalidad del trabajo realizado. Sin embargo se encontraron valores similares de capacidad antioxidante a los reportados por Morales y colaboradores (2009) para galletas sometidas a diferentes condiciones de procesamiento.

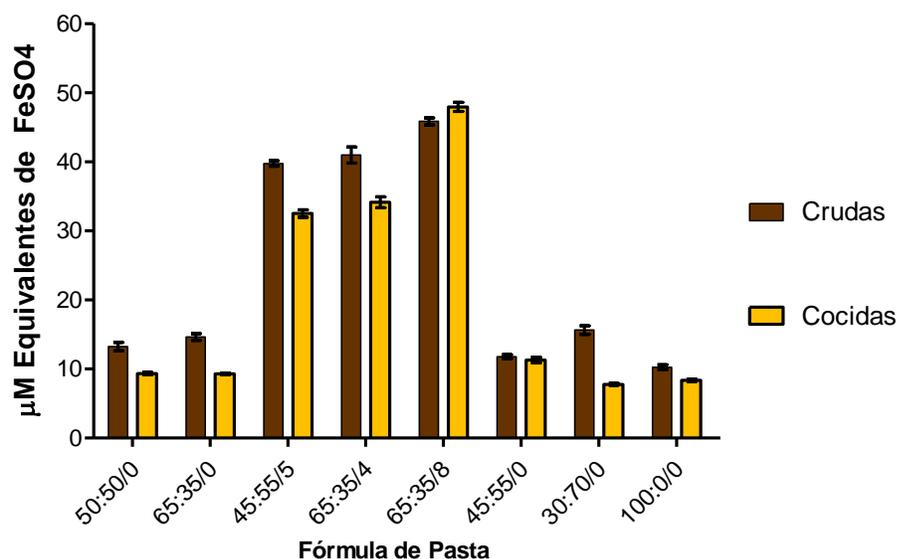


Fig. 18. Valores de FRAP, expresados en $\mu\text{M EFeSO}_4/\text{g}$, de pastas con harina y hoja de amaranto, cruda y cocida.

VI.3.4 ORAC

Las pastas con amaranto mostraron mayores valores de ORAC que la muestra control, con 100% sémola de trigo (Cuadro 15 y Figura 17). Se observaron diferencias significativas entre la capacidad antioxidante de las muestras crudas y cocidas. El valor máximo y mínimo de reducción de valores ORAC son 25.5% para la pasta 50:50 sémola:harina de amaranto y 62.5% para la pasta 65:35 sémola:harina de amaranto con 8% de hoja de amaranto. Las formulaciones con los mayores porcentajes de hoja de amaranto adicionada (5 y 8%) exhibieron los valores más altos de capacidad antioxidante para las muestras de pastas cocidas, sin embargo esta relación no se mantuvo para las muestras de pasta cocida.

Cuadro 15. Valores de ORAC de pastas de amaranto crudas y cocidas ^a			
Sémola : Harina Amaranto / % Hoja de Amaranto	Pasta cruda ORAC ($\mu\text{mol ET/g}$)	Pasta cocida ORAC ($\mu\text{mol ET/g}$)	Pérdida de capacidad antioxidante por cocción (%)
50 : 50 / 0	99.14 \pm 12.30	73.87 \pm 1.83	25.5
65 : 35 / 0	107.29 \pm 7.96	65.72 \pm 10.12	38.7
45 : 55 / 5	147.36 \pm 10.17	87.08 \pm 7.63	40.9
65 : 35 / 4	107.06 \pm 11.84	72.86 \pm 8.80	31.9
65 : 35 / 8	145.05 \pm 11.14	54.36 \pm 5.51	62.5
45 : 55 / 0	107.67 \pm 8.90	53.74 \pm 8.29	50.1
30 : 70 / 0	130.94 \pm 17.37	59.48 \pm 5.64	54.6
100 : 0 / 0	80.08 \pm 19.53	47.95 \pm 11.55	40.1

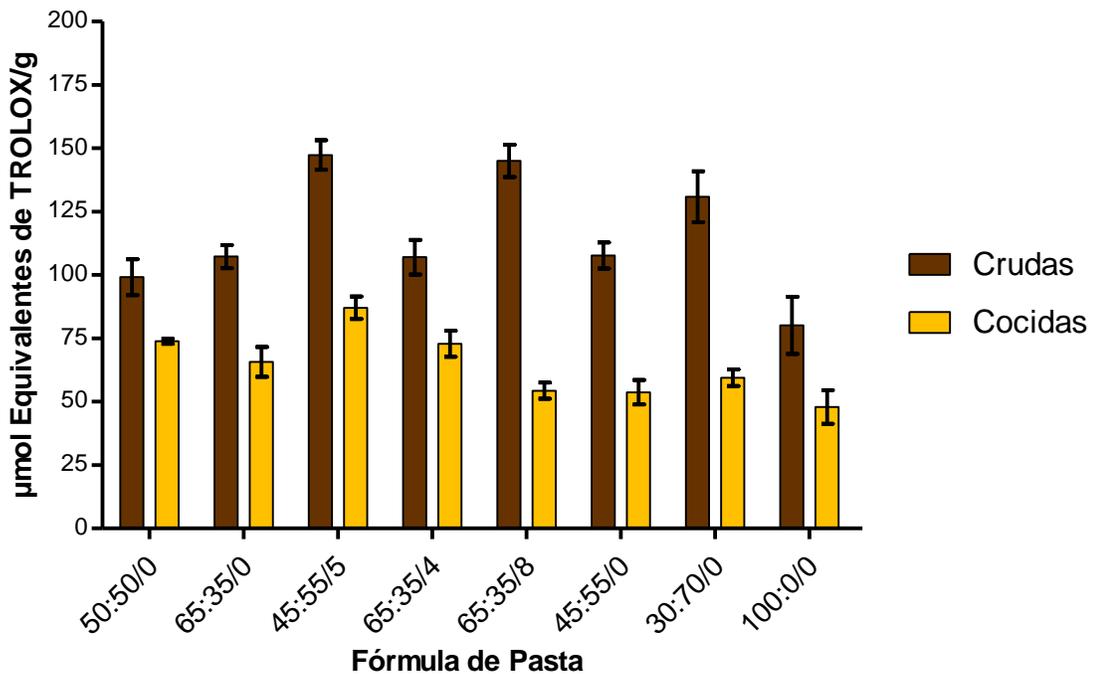


Fig. 19. ORAC, expresado en μmol equivalentes de Trolox por gramo ($\mu\text{mol ET/g}$), de pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada

A pesar de que ORAC es el único método reconocido por la USDA para evaluar la capacidad antioxidante de alimentos, en la literatura existen muy pocos reportes de esta determinación en pastas o productos similares, lo cual representa un área de oportunidad en futuras investigaciones. Los resultados obtenidos para las pastas con amaranto son mayores a los reportados por Hirawan y colaboradores (2010) para pastas regulares comerciales de Canadá.

Los ensayos de Fenoles Totales, FRAP y ORAC coinciden en la reducción de la capacidad antioxidante de las muestras por efecto de la cocción de las pastas. Esta disminución en el potencial antioxidante ha sido observado también por otros grupos de investigación (Prabhasankar y col., 2009; Hirawan y col., 2010). De manera general la pasta control y las que contienen únicamente harina de amaranto son las que presentan las menores pérdidas de capacidad antioxidante por efecto de la

cocción, siendo las de hoja de amaranto las que tienen las mayores pérdidas. Esto se puede explicar a partir de las diversas formas en que los compuestos fenólicos y flavonoides se encuentran en los alimentos, pues mientras que en los vegetales se encuentran libres y solubles, en cereales y pseudocereales como el trigo y el amaranto están principalmente esterificados con azúcares y otros compuestos de bajo peso molecular o de manera insoluble unidos covalentemente a compuestos de alto peso molecular como polisacáridos (Zilic y col., 2011). De tal manera que durante la cocción se puede esperar que los compuestos antioxidantes de la hoja de amaranto se solubilicen en el agua de cocción, mientras que los aportados por el trigo y el amaranto se mantengan o incluso sean liberados y contribuyan a la capacidad antioxidante hasta después de la cocción, tal y como lo refieren autores como Fares y col., (2010). A diferencia de los demás ensayos, el ensayo de DPPH mostró un ligero incremento en la capacidad antioxidante después de la cocción para cuatro formulaciones con harina de amaranto, esto se puede explicar a partir de la capacidad del ensayo DPPH para medir diferentes antioxidantes presentes en el extracto como esteroides y vitamina E (Aravind y col., 2012). Está reportado en la literatura que el grano de amaranto contiene esteroides y vitamina E, los cuales pudieran estar contribuyendo al incremento en la capacidad antioxidante de las pastas cocidas (Kaur y col., 2010; Álvarez-Jubete y col., 2010).

VI.4 Evaluación Sensorial

El análisis estadístico de la prueba de evaluación sensorial relevó una clara preferencia del consumidor por la formulación con el menor porcentaje de harina de amaranto. En el Cuadro 16 se pueden apreciar las calificaciones que obtuvieron las formulaciones de pasta, con harina de amaranto, para cada uno de los atributos sensoriales evaluados. En lo que se refieren a los atributos de apariencia, no se observó una diferencia significativa en la preferencia de las pastas con 35, 50 y 55% de harina de amaranto, pero si con la pasta con 70% (formulación 65:35/8), que obtuvo la menor preferencia en color, suavidad en la superficie y pedazos rotos.

Para los parámetros de sabor, se observó una clara preferencia por la formulación con 35% de harina de amaranto, que obtuvo las calificaciones más cercanas a 1, que representa la mayor preferencia, mientras que la pasta con la mayor cantidad de amaranto registró una calificación promedio de 3.21 para el sabor a pasta cocida.

Cuadro 16. Evaluación atributos sensoriales pastas con harina de amaranto				
Atributo	Fórmula			
	65:35/0	50:50/0	45:55/0	30:70/0
Apariencia				
Color	1.42 ^a	3.00 ^b	1.78 ^a	3.68 ^c
Suavidad en la superficie	2.00 ^a	2.31 ^a	2.15 ^a	3.52 ^b
Pedazos rotos	2.26 ^a	2.42 ^a	2.05 ^a	3.15 ^b
Sabor				
Sabor a pasta cocida	1.63 ^a	2.42 ^b	2.73 ^{b,c}	3.21 ^c
Salado	1.52 ^a	2.42 ^b	2.57 ^b	3.47 ^c
Textura				
Pegajosidad	1.10 ^a	2.73 ^b	2.15 ^c	4.00 ^d
Firmeza	1.26 ^a	2.84 ^c	1.89 ^b	4.00 ^d
Elasticidad	1.52 ^a	2.58 ^c	2.05 ^b	3.73 ^d
Evaluación Global	1.26 ^a	2.89 ^c	2.00 ^b	3.84 ^d
^a Valores de pasta de amaranto no conectados por la misma letra en la misma columna son significativamente diferentes (P≤0.05)				

Tres parámetros de textura fueron evaluados en la prueba, nuevamente se obtuvieron mayores preferencias en la pasta con la menor cantidad de harina de amaranto. Para los atributos de firmeza y elasticidad, la pasta con 55% obtuvo el segundo lugar en preferencia; mientras que para el atributo de pegajosidad, este lugar lo obtuvo la pasta con 50% de harina de amaranto. En la evaluación global, la pasta con 35% de harina de amaranto obtuvo la mayor preferencia, seguida por las fórmulas con 55, 50 y finalmente 70% de harina.

En el Cuadro 17 se muestran los resultados de la segunda prueba de evaluación sensorial, para las pastas con harina y hoja de amaranto. Para los atributos, se mostró una mayor preferencia por la pasta con 8% de hoja de amaranto en cuanto al color, ya que esta pasta presentó un color verde oliva intenso que fue del agrado de los panelistas.

En cuanto al sabor, la pasta con 35% de harina de amaranto y 4% de hoja de amaranto deshidratada registró la mayor preferencia obteniendo un valor de 1.42, mientras que la pasta con 8% de hoja de amaranto obtuvo 2.68. Los panelistas no detectaron diferencias significativas para el parámetro de pegajosidad. Las fórmulas con los menores porcentajes de hoja de amaranto añadida registraron mejores calificaciones en firmeza y elasticidad. Finalmente en la evaluación global la pasta que registró la mayor preferencia fue la pasta con 35% harina de amaranto y 4% de hoja deshidratada.

Cuadro 17. Evaluación atributos sensoriales pastas con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada			
Atributo	Fórmula		
	45:55/5	65:35/4	65:35/8
Apariencia			
Color	1.89 ^b	2.89 ^c	1.21 ^a
Suavidad en la superficie	2.00 ^a	2.15 ^a	1.84 ^a
Pedazos rotos	1.84 ^{a,b}	1.73 ^a	2.42 ^b
Sabor			
Sabor a pasta cocida	1.89 ^a	1.42 ^a	2.68 ^b
Salado	1.63 ^a	1.73 ^a	2.57 ^b
Textura			
Pegajosidad	1.68 ^a	2.10 ^a	2.21 ^a
Firmeza	1.84 ^a	1.54 ^a	2.63 ^b
Elasticidad	2.31 ^b	1.47 ^a	2.21 ^b
Evaluación Global	2.10 ^b	1.47 ^a	2.42 ^b
^a Valores de pasta de amaranto no conectados por la misma letra en la misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)			

Como parte de los comentarios generales de los panelistas de las pruebas de evaluación sensorial, se concluye que la harina de amaranto confiere una nota de aroma y sabor muy marcada a las pastas extruidas, además del sabor herbal de la hoja de amaranto; así mismo refirieron a la importancia de la forma de cocción del producto, sugiriendo la técnica para la preparación de sopas de fideo, con un ligero salteado en aceite, y cocción en líquido aromatizado como algún fondo o con caldillo de jitomate.

VII. CONCLUSIONES

Se obtuvieron pastas con atributos de calidad aceptables, de acuerdo a las pruebas de la Asociación Americana de Químicos en Cereales (A.A.C.C.); se comprobó que la adición de harina de amaranto y hoja de amaranto contribuye significativamente al incremento del aporte nutrimental de este producto procesado, inclusive en aquellas pastas con las menores cantidades de estos ingredientes, en comparación con el producto control. Estos resultados concuerdan con los múltiples trabajos de investigación que promueven el uso del amaranto como elemento de enriquecimiento para productos procesados como cereales para el desayuno, galletas, botanas, panes y pastas.

A través de las pruebas de capacidad antioxidante *in vitro* se corroboró que el amaranto posee compuestos fitoquímicos con potencial funcional, que se mantienen inclusive después de la cocción de las pastas procesadas. Se requieren, además de las pruebas ya realizadas, estudios *in vivo*, que sustenten el valor nutracéutico de los ingredientes del amaranto.

La evaluación sensorial mostró que el consumidor prefiere las pastas con menores cantidades de harina de amaranto, y aunque en primera instancia, este resultado podría ser desalentador, se comprobó aún que las pastas con las menores concentraciones de ingredientes de amaranto poseen mayores valores nutrimentales, así como capacidad antioxidante, en comparación con la pasta tradicional de sémola de trigo. Además, desde el punto de vista económico, mientras más amaranto se agregue a las pastas, mayor será el incremento en el costo de las pastas.

En este trabajo se desarrolló una caracterización de los atributos más importantes de las pastas, sin embargo cabe la posibilidad para estudios posteriores, someter los productos obtenidos a más pruebas que brinden mayor información sobre sus propiedades, por ejemplo evaluaciones reológicas para los atributos de textura; modificaciones en las condiciones de procesamiento para el mejoramiento de la

calidad del producto terminado; biodisponibilidad de minerales, pruebas de digestibilidad, actividad antioxidante in vivo, así como determinación de índice glicémico, entre otros análisis.

IX. BIBLIOGRAFÍA

AACC International. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. **1990.** 8th Edition. Method 66-50.01 Pasta Cooking Quality-Firmness. AACC International. St. Paul, MN, USA.

Anónimo. **2004.** Alimentos Funcionales. Servicio Nacional del Consumidor. SERNAC. Gobierno de Chile.

AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. **1997.** 16th Edition. Method Chapter 32 Cereal Foods. Gaithersburg Maruland, USA.

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E.K., Gallagher, E. **2010.** Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. Trends in Food Science and Technology. Vol. 21: 106-113

Anzures, R. 2011. Publicidad Comercial en Alimentos Funcionales. PROFECO. Procuraduría Federal del Consumidor.

Apró, N., Rodríguez, J., Gomatti, C., Cuadrado, C., Secreto, P., 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. Jornadas de Desarrollo e Innovación. Argentina.

Aravind, N., Sissons, M., Egan, N., Fellows, C. **2012.** Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. Food Chemistry. Vol 130: 299-309.

Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., Sapirstein, H. D. **2005.** Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller mill fractions. Cereal Chemistry, Vol. 82: 390–393.

Borneo, R., Aguirre, A. **2008.** Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. LWT – Food Science and Technology. Vol. 41: 1748-1751

Boroski, M., de Aguiar, Ana Carolina, Schuelter, J., Rotta, E., Leite, C., Guntendorfer, E., Evelázio, N., Vergílio, J. **2011.** Enhancement of pasta antioxidant activity with oregano and carrot leaf. Food Chemistry. Vol. 125: 696-700

Brand-Miller, J., Dickinson, S., Barclay, A., Dip, G., Celermajer, D., 2007. The Glycemic Index and Cardiovascular Disease Risk. Human Nutrition Unit. University of Sydney. Camperdown, NSW, 2006, Australia.

Bruce, B. 2011. Leatherhead values functional foods market at \$24.2bn. <http://www.foodbev.com/report/leatherhead-values-functional-foods-mark>

Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P. M., Del Nobile, M. A., 2008. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. *Journal of Food Engineering*. Vol. 84:101-107.

Chillo, S., Suriano, N., Lamacchia, C., Del Nobile, M.A., 2009a. Effects of additives on the rheological and mechanical properties of non-conventional fresh handmade tagliatelle. *Journal of Cereal Science*. Vol. 49:163-170.

Chillo, S., Civica, V., Lanneti, M., Suriano, N., Mastromatteo, M., Del Nobile, M.A., 2009b. Properties of quinoa and oat spaghetti loaded with carboxymethylcellulose sodium salt and pregelatinized as structuring agents. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 78:932-937.

Chillo, S., Civica, V., Lanneti, M., Mastromatteo, M., Suriano, N., Del Nobile, M.A., 2010. Influence of repeated extrusions on some properties of non-conventional spaghetti. *Journal of Food Engineering*. Vol. 100: 329-335.

El Granero Integral S.L. Alternativa del Futuro. Alimentación Natural y Ecológica. <http://www.elgranero.com/>

Erewhon. Natural Foods Market. <http://www.erewhonmarket.com/>

Esquivel, E. 2008. El consumidor mexicano y los alimentos funcionales: Yakult México. International Food Technology Summit. México.

Extruder: use in pasta making. *Art.* Encyclopædia Britannica Online. *Web.* <http://www.britannica.com/EBchecked/media/166/A-high-temperature-short-time-extruder>

Fares, C., Platani, C., Baiano, A., Menga, V., 2010. Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*. Vol. 119: 1023-1029.

Flyman, M.V., Afolayan, A.J., 2006. The suitability of wild vegetables for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*. Vol. 72:492-497

Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzman, N.E., González-Laredo, R.F., Ochoa-Martínez, L.A., Corzo, N., Bello-Pérez, L.A., Medina-Torres, L., Peralta-Álvarez, L.E. 2010. Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) Food Chemistry. Vol. 119:1544-1549

George Morris Centre. 2008. International Market Trends Analysis for the Functional Foods and Natural Health Products Industry in the United States, Australia, the United Kingdom and Japan. [http://admin.nutrinetcanada-nnc.ca/useredits/Image/FFNHP%20International%20Final%20Report%20FINAL%20031708%20MK%20%20CCB\(1\).pdf](http://admin.nutrinetcanada-nnc.ca/useredits/Image/FFNHP%20International%20Final%20Report%20FINAL%20031708%20MK%20%20CCB(1).pdf)

Hirawan, R., Yuin Ser, W., Arntfield, S. D., Beta, T. 2010. Antioxidant properties of commercial, regular and whole-wheat spaghetti. Food Chemistry. Vol. 119: 258-264.

Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A., Prior, R.L., 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 50:4437-4444

Kala, S., Sehgal, S. 1995. Effect of home processing on ascorbic acid and β -carotene of spinach (*Spinach oleracia*) and amaranth (*Amaranthus tricolor*) leaves. Plant Food for Human Nutrition. Vol. 47: 125-131

Kaur, S., Singh, N., Chand, J. 2010. *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. Food Chemistry. Vol 132: 1227-1234

Kill, R. C., Turnbull, K. 2001. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Acribia. Zaragoza, España. 1-9, 93-126

Kruger, J., Matsuo, R., Dick, J. 1996. Pasta and Noodle Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.

Kumari, M., Gupta, S., Jyothi Lakshmi, A., Prakash, J. 2004. Iron bioavailability in green leafy vegetables cooked in different utensils. Food Chemistry. Vol 86:217-222

Li, W., Pickard, M. D., and Beta, T. 2007. Evaluation of antioxidant activity and electronic taste and aroma properties of antho-beers from purple wheat grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol 55:8958–8966.

Maldonado, B. 2005. Manual de Prácticas Análisis de Alimentos. Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro.

Mariotti, M., Lametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P., Lucisano, M. 2011. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *Journal of Cereal Science*. xxx:1-9

Meilgaard, M., Vance, G., Carr, B.T. 2006. *Sensory Evaluation Techniques*. 4th Edition. CRC Press. NY, USA.

Menrad, K. 2003. Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*. Vol. 56:181-188.

Multigrain pasta with amaranth. Orgran. <http://www.orgran.com/products/97/>

Morales, J., Martin, S., Açar, Ö., Arribas-Lorenzo, G., Gökmen, V. 2009. Antioxidant activity of cookies and its relationship with heat-processing contaminants: a risk/benefit approach. *European Food Research Technology*. Vol. 228:345-354

National Nutrient Database for Standard Reference. USDA Agricultural Research Service. National Agricultural Library. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/list>

Orgran. Gluten Free Foods. <http://www.orgran.com/>

Pasta for All. 2010. International Pasta Organisation IPO. <http://www.internationalpasta.org/index.php?lang=2>

Paredes-Lopez, O. 1994. *Amaranth: Biology, chemistry and technology*. 1a edición. CRC Press.

Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L.R., Hosokawa, M., Miyashita, K., 2009. Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemistry*. Vol. 115: 501-508.

PwC. Pricewaterhouse Coopers. 2009. Leveraging growth in the emerging functional food industry: Trends and market opportunities. <http://www.pwc.com/us/en/transaction-services/publications/functional-foods.jhtml>

Robert W. Freckmann Herbarium. 2011. University of Wisconsin - Stevens Point. <http://wisplants.uwsp.edu/scripts/detail.asp?SpCode=AMACAU>

Shahidi, F. 2009. Nutraceutical and functional food: whole versus processed food. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 20:376-387.

- Shulka, S., Bhargava, A., Chatterjee, A., Srivastava, J., Singh, N., Singh, S. P., 2006.** Mineral Profile and Variability in Vegetal Amaranth (*Amaranthus tricolor*). Plant Food for Human Nutrition. Vol. 61: 23-28
- Shulka, S., Pandey, V., Pachauri, G., Dixit, B. S., Banerji, R. 2003.** Nutritional contents of different foliage cuttings of vegetable amaranth. Plant Food for Human Nutrition. Vol. 58: 1-8
- Singh, G., Kawatra, A., Sehgal, S. 2001.** Nutritional composition of selected green leafy vegetables, herbs and carrots. Plant Food for Human Nutrition. Vol. 56: 359-364
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., Berghofer, E. 2010.** Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. Plant Foods Human Nutrition. Vol. 65:339-349.
- Sun, T., Tanumihardjo, S.A. 2007.** An Integrated Approach to Evaluate Food Antioxidant Capacity. Journal of Food Science. Vol. 72:159-165
- Vitaglione, P., Napolitano, A., Fogliano, V., 2008.** Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. Trends in Food Science and Technology. Vol. 19: 451-463
- Wildman, R. 2001.** Handbook of nutraceuticals and functional food. CRC Press LLC. United States of America. 13-30.
- Williams, M., Pehu, E., Ragasa, C. 2006.** Functional Foods: Opportunities and Challenges for Developing Countries. Agricultural and Rural Development Notes. The World Bank.
http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/Note19_FunctionalFoods_web.pdf
- Yawadio, R., Kikizaki, H., Konishi, Y. 2008.** Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds. Food Chemistry. Vol. 106: 760-766
- Zilic, S., Hadzi-Taskovic Sukalovic, V., Dodig, D., Maksimovic, V., Maksimovic, M., Basic, Z. 2011.** Antioxidant activity of small grain cereals caused by phenolic and lipi soluble antioxidant. Journal of Cereal Science. Vol. 54:417-424

Zulueta, A., Esteve, M., Frígola, A. 2009. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. Food Chemistry. Vol. 113: 310-316