



# Compuestos nutritivos y bioactivos del amaranto

(*Amaranthus hypochondriacus*)

A. E. Peláez-Castañeda\* y M. A. P. Porras-Loaiza

\*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos  
Correo electrónico: [ana.pelaezca@udlap.mx](mailto:ana.pelaezca@udlap.mx) • [patricia.porras@udlap.mx](mailto:patricia.porras@udlap.mx)

## RESUMEN

**E**l amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) es un pseudocereal cuyo origen se reporta en el continente americano. La semilla de amaranto contiene nutrientes como lípidos (4.8-8.1 % b. s.), ácidos grasos como el omega-6, tocoferoles, tocotrienoles y esteroides; proteínas de alta calidad (21 % b. s.) con buen equilibrio de aminoácidos, entre los que se destaca la lisina; carbohidratos (70 % b. s.); vitaminas (A, C, B1, B2, B3, E y ácido fólico), y minerales (fósforo, hierro, magnesio, calcio y zinc). Además, los péptidos, el escualeno, los fitoesteroides y los polifenoles, entre otros compuestos presentes en la semilla de amaranto, han demostrado tener acción bioactiva. En México, el amaranto es conocido y usado en dulces típicos y como cereal, aunque sus aplicaciones cada vez son mayores. Se usa de forma directa como ingrediente, pero también como fuente para la extracción de compuestos como almidón, proteínas y fibra que se utilizan como ingredientes en otros productos alimenticios. El objetivo de esta revisión es resaltar las características, propiedades nutricionales y funcionales, sus diferentes formas de consumo y los usos de esta semilla, haciendo una recopilación de información publicada sobre sus nutrientes y compuestos bioactivos.

**Palabras clave:** *Amaranthus hypochondriacus*, compuestos bioactivos, nutrientes.

## ABSTRACT

Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) is a pseudocereal native of the American continent. Amaranth seed contains nutrients such as lipids (4.8-8.1 % d. b.), fatty acids such as omega-6, tocopherols, tocotrienols and sterols; high quality proteins (21 % d. b.) with good amino acid balance, among which lysine stands out; carbohydrates (70 % d. b.), vitamins (A, B, C, B1, B2, B3, E and folic acid) and minerals (phosphorus, iron, magnesium, calcium and zinc). In addition, peptides, squalene, phytosterols and polyphenols, are some of the compounds in the amaranth seed that have shown bioactive action. In Mexico, amaranth is known and used in typical candies and as cereal, although its applications are rapidly increasing, both directly, as an ingredient, and as source of extraction of compounds such as starch, protein and fiber that are used as ingredients in other food products. The objective of this review is to highlight the characteristics, properties and uses of this seed, and to compile published information on its nutrients and bioactive compounds.

**Keywords:** *Amaranthus hypochondriacus*, bioactive compounds, nutrients.

## INTRODUCCIÓN

El amaranto es una planta considerada como pseudocereal, utilizada en la alimentación desde tiempos ancestrales por culturas prehispánicas. Las evidencias arqueológicas confirman que se consumían hojas y semillas antes del proceso de domesticación de esta especie entre el 5200-3400 A.C. (Barros y Buenostro, 1997).

En el continente americano existen alrededor de 70 especies del género *Amaranthus*, de las cuales, más del 80 % son endémicas. Hay registros que indican que la especie *Amaranthus hypochondriacus* es originaria de Norteamérica, específicamente, de México (Montoya-Rodríguez, Gómez-Favela, Reyes-Moreno, Milán-Carrillo y González de Mejía, 2015) y se cultivó desde hace más de 6,000 años en el valle de Tehuacán, extendiéndose a lo largo de México, durante el siglo xv, y no fue sino hasta el siglo xviii que se introdujo en Asia (Joshi *et al.*, 2018).

El amaranto es fácilmente cultivable en muchas regiones de América, Europa, Asia y África, ya que tolera desde temperaturas templadas hasta tropicales (El Gendy *et al.*, 2018; Joshi *et al.*, 2018). En México, el estado de Puebla es uno de los principales productores de la variedad *A. hypochondriacus*. El amaranto es un cultivo de rápido crecimiento, tiene la capacidad de retener agua, lo cual le permite resistir condiciones de sequía, entre otras situaciones de estrés. Generalmente, se obtienen buenos rendimientos de cosecha, alcanzando en promedio 3 ton/ha, por lo que es una opción de cultivo viable para los productores en zonas marginadas (Espitia-Rangel, Mapes-Sánchez, Núñez-Colín y Escobedo-López, 2010).

Existe evidencia de que los españoles consideraban al amaranto como bleado, ajedrea o armuelle, debido a que creían que era mala hierba en los sembradíos y sin valor, lo que ocasionó que se le restara importancia a su siembra y cosecha durante la Conquista, desalentando su cultivo (Velasco Lozano, 2016). Debido a esto, es importante trabajar actualmente en el rescate del cultivo y consumo de este alimento. A pesar de

ser un alimento con alto valor nutricional por su contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas, es poco utilizado en la dieta de muchas familias mexicanas, ya que hasta 2018 no se consideraba un producto básico. Sin embargo, a partir de 2019, el amaranto ha sido integrado en la canasta básica nacional al considerarse como un grano estratégico en la soberanía alimentaria (Muñoz, 2019), esto debido a la cantidad de carbohidratos, lípidos y proteínas que aporta. Estudios demuestran que el amaranto cuenta con compuestos bioactivos como péptidos, fitoesteroles, escualeno y polifenoles, que ayudan a mantener y beneficiar el estado de salud de las personas, contribuyendo en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, antioxidante, entre otros (Herrera y Montenegro, 2012; Herrera-Chalé, Betancur-Ancona y Segura-Campos, 2014).

Actualmente en México, el amaranto es usado principalmente como cereal y su forma de consumo más usual es en granolas y dulces tradicionales. Tanto el cultivo como el proceso de comercialización presentan diversos desafíos debido a la falta de recursos y tecnología aplicada en su proceso de producción y transformación, por lo que, en los últimos años, ha sido motivo de investigación en todo el mundo, haciendo referencia al uso del amaranto en combinación con otros cereales para mejorar las propiedades reológicas de productos de panificación, harinas, pastas, entre otros (Albores-Palacios, 2015; Álvarez-Jubete, Arendt y Gallagher, 2009; Ayala-Garay, Espitia-Rangel, Rivas-Valencia, Martínez-Trejo y Almaguer-Vargas, 2016; Cavieres, Piñeira y Negrete, 2016; García-Ortiz, 2016; Palma-Colindres, 2014; Raihan y Saini, 2017; Torres-Merlo, Vallejos-Cazar y Castañeda-Garzón, 2017).

Este artículo de revisión tiene la intención de resaltar la composición nutrimental de la semilla de amaranto, presentando información sobre algunos compuestos bioactivos, así como las aplicaciones como ingrediente debido a sus propiedades funcionales y diferentes formas de consumo.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Composición de las semillas de amaranto

A lo largo de la historia, se han utilizado más de 10,000 especies vegetales comestibles como parte de la alimentación humana, aunque actualmente, solo se usan alrededor de 150 especies de plantas que son comercializadas globalmente. De dichas especies, únicamente 12 son las que proporcionan aproximadamente el 80 % de la energía de la dieta humana, y más del 60 % del requerimiento proteico y calórico se cumplen con solo 4 especies: arroz, trigo, maíz y papa (FAO, 2005). Por lo anterior, es importante considerar otras especies vegetales que puedan cubrir los nutrimentos necesarios como parte de una dieta balanceada, como el amaranto.

La equilibrada composición del amaranto puede proporcionar nutrientes esenciales que se requieren para un adecuado crecimiento y desarrollo de la población, así como prevenir trastornos nutricionales, por lo que es utilizado como parte de la dieta de personas en comunidades rurales de bajos ingresos (Kachiguma, Mwase, Maliro y Damaliphetsa, 2015).

La semilla de amaranto está compuesta, en su mayoría, por carbohidratos (70 % b. s.); es excelente fuente de proteínas (21 % b. s.) de alta calidad, posee el doble de lisina (5.9-8.9 g/100 g de proteína) en comparación con otros granos como el maíz y trigo; es rica en minerales (Ca, K, P, Fe y Mg), compuestos fenólicos y ácidos grasos insaturados; además, el amaranto es libre de gluten, por lo que puede ser consumido por personas celiacas. Es importante considerar que la composición química de las semillas de amaranto puede variar de acuerdo con la especie del grano, el lugar y las condiciones de cultivo (El Gendy *et al.*, 2018; Joshi *et al.*, 2018; Mustafa, Seguin y Gélinas, 2011; Venskutonis y Kraujalis, 2013).

Mustafa *et al.* (2011) estudiaron la composición química de 28 genotipos diferentes de semilla de amaranto, entre ellas, *A. hypochondriacus* procedentes de Pensilvania, una semilla

blanca y otra dorada. Dichos autores observaron que existe una relación entre el color de la semilla y las concentraciones de almidón, fibra de detergente neutro (FDN), fibra dietética total, lípidos, taninos, cenizas y minerales como el calcio y el magnesio. La concentración de cenizas, proteína cruda y fibra dietética (total y soluble) resultó ser más alta en las semillas de mayor coloración, resultados que coinciden con lo reportado por Pedersen, Kalinowski y Eggum (1987). El calcio y el magnesio tienen un comportamiento similar, las concentraciones más altas se presentan en las semillas doradas de *A. hypochondriacus*, mientras que el fósforo, potasio y sodio no se ven afectados por la coloración de la semilla. Por el contrario, la cantidad de almidón, lípidos y taninos totales presentes en las semillas blancas de *A. hypochondriacus* es mayor que en las semillas doradas. Kaur, Singh y Rana (2010) estudiaron el contenido de la fibra dietética y observaron que al igual que otros nutrientes el color de la semilla influye en dicho contenido, las semillas de *A. caudatus* tenían coloración marrón rojizo mientras que las de *A. hypochondriacus* presentaron una coloración amarilla cremosa. Se observó que a mayor valor de  $a^*$  y menores valores de  $L^*$  y  $b^*$ , había mayor contenido de fibra.

### 1.1. Nutrientes

#### 1.1.1. Lípidos

La semilla de amaranto contiene de 4.8-8.1 % de lípidos (b. s.) (Saunders y Becker, 1984) y es muy buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados, entre los que destacan el omega-6 y el omega-3, además contiene triterpenos como el escualeno (Abreu, Hernández, Castillo, Sampere y Martin, 1995; El Gendy *et al.*, 2018). El Gendy *et al.* (2018) determinaron el contenido de lípidos en *A. hypochondriacus*, encontrando que es significativamente mayor que en especies del género *A. cruentus*; además, los ácidos grasos mayoritarios son el linoleico, el palmítico y el oleico (ver tabla I).

**Tabla 1.** Composición de materia seca, lípidos, ácidos grasos y escualeno de la semilla de *A. hypochondriacus*

Parámetro	Concentración
Materia seca (100 g de semilla)	89.97
Lípidos (100 g de semilla)	7.87
Ác. grasos saturados (100 g de lípidos totales)	18.51-28.60
Mirístico	0.21-0.29
Palmitico	13.76-23.80
Margárico	0.08
C18:0 iso	0.36
Esteárico	2.53-3.98
Araquídico	0.56-0.89
Behénico	0.14-0.32
Lignocérico	0.28
Ác. grasos monoinsaturados (100 g de lípidos totales)	23.10-30.14
Palmitoleico	0.10-0.19
Oleico	22.80-28.82
Oleico cis-11	0.89
Oleico cis-12	0.15
Ác. grasos poliinsaturados (100 g de lípidos totales)	29.59-50.00
Linoleico	28.71-49.10
Linolénico	0.65-0.93
Escualeno (100 g de lípidos totales)	5.72

Adaptada de Jahaniaval, Kakuda y Marcone (2000) y El Gendy *et al.* (2018).

El procesamiento de semillas de amaranto y los tratamientos que se le aplican influyen en el contenido de los lípidos y en su composición (Venskutonis y Kraujalis, 2013). Kaur *et al.* (2010) estudiaron 48 variedades de *A. hypochondriacus* y 11 de *A. caudatus*, y observaron mayor contenido de grasa en *A. caudatus*. Barba de la Rosa *et al.* (2009) obtuvieron harina de amaranto a partir de la molienda de semillas de *A. hypochondriacus* y reportaron un contenido de lípidos del 7.9-8.9 %. En estudios más recientes, se ha visto que el tamaño de partícula y la fracción de molienda es crucial en el procedimiento de extracción de los lípidos de amaranto debido al área de superficie que estará expuesta y en contacto con el solvente (Venskutonis y Kraujalis, 2013).

La composición de los ácidos grasos del amaranto puede modificar las propiedades nutricionales, durante los procesos tecnológicos empleados durante la transformación del grano (Venskutonis y Kraujalis, 2013), dichas propiedades nutrimentales han sido determinadas en diversos estudios en los que se ha visto que los principales ácidos grasos del amaranto, considerando las diferencias que se presentan entre variedades y condiciones de cultivo, son el palmitico, el oleico y el linoleico, como se muestra en la tabla 1. El aceite de amaranto contiene un alto grado de insaturación, por lo que es probable que el contenido de ácidos grasos se modifique durante el procesamiento de la semilla usada en diferentes aplicaciones (Venskutonis y Kraujalis, 2013). Un estudio de Sujak y Dziwulska-Hunek (2010) demostró que el contenido de ácidos grasos esenciales en la semilla de amaranto cosechada se ve favorecido con la estimulación electromagnética de luz láser y/o campo magnético aplicado a las semillas, aumentando dicho contenido.

Entre los fitoesteroles presentes en la semilla de *A. hypochondriacus* se encuentran el campesterol, el estigmasterol y el  $\beta$ -sitosterol. El  $\beta$ -sitosterol es el mayoritario al representar más del 50 % de los fitoesteroles. Además, contiene escualeno, cuyo contenido es de alrededor de 5.72 g/100 g de lípidos totales. La extracción común de escualeno es primordialmente de origen animal, debido a la preocupación por la conservación de las especies marinas a nivel internacional, el amaranto se convierte en una fuente vegetal viable de extracción del escualeno

(Huang, Lin y Fang, 2009). Por esta razón, resulta importante establecer fuentes alternas para el suministro de este compuesto (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2015).

### 1.1.2. Proteínas

La semilla de amaranto tiene 13.1-21.0 % de proteína cruda (b. s.). El 35 % del total de la proteína del grano se encuentra en el perispermo, y el resto se localiza en el germen (Joshi *et al.*, 2018; Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015). Las proteínas presentes en el grano de amaranto son de alta calidad y valor biológico debido al equilibrio de la composición de aminoácidos comparada con otras fuentes como maíz, arroz, trigo y cebada. En general, el amaranto es una opción viable para sustituir ciertos cereales gracias a la funcionalidad de sus proteínas (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015), incluyendo su capacidad de absorción de agua y aceite. El 50-60 % de la proteína total está constituida de albúminas y globulinas de fácil digestión, el 20.8 % la componen glutelinas álcali solubles y el 12 % son prolaminas solubles en alcohol y su digestibilidad es del 90 % (Grobelnik-Mlakar *et al.*, 2010; Zheleznov, Solonenko y Zheleznova, 1997).

En los aislados de proteína de amaranto, la principal fracción proteica está constituida por globulinas, globulina 11S (amarantina) y la globulina 7S. La globulina 11S es la proteína mayoritaria en la semilla de amaranto y la encargada del almacenamiento de nutrientes, es rica en lisina y soluble en soluciones salinas, cuenta con 501 residuos de aminoácidos y una masa molecular de 56 kDa; a esta proteína se le atribuye buena parte de las propiedades nutricias del grano (Barba de la Rosa, Herrera-Estrella, Utsumi y Paredes-López, 1996). Por otro lado, la globulina 7S está presente en menor cantidad, por lo que ha sido menos estudiada que la globulina 11S. Se ha reportado que está formada por 3 subunidades principales llamadas  $\alpha$  (57-68 kDa),  $\alpha'$  (57-72 kDa) y  $\beta$  (42-52 kDa), unidos por enlaces no covalentes para formar un trímero con una masa molecular aproximada de 170-200 kDa (García-González, Flores-Vazquez, Barba de la Rosa, Vazquez-Martinez y Ruiz-García, 2013).

Otras proteínas del amaranto, como las prolaminas y las glutelinas, tienen tareas específicas en la semilla; por ejemplo, la transferencia de fosfolípidos y la regulación de la deposición de

cera en las paredes celulares de células epidérmicas, la transferencia de glicosilo a través de las membranas, la destrucción de radicales tóxicos, la síntesis de almidón, la síntesis de aminoácidos esenciales, entre otras (Casique, Martínez, Gonzalez y Delano, 2014; Castrillon-Arbeláez, Martínez-Gallardo, Avilés Arnaut, Tiessen y Délano-Frier, 2012; Ramírez-Medelez *et al.*, 2003).

Se ha reportado que en las especies silvestres hay mayor cantidad de proteínas, aminoácidos y otros nutrientes, en comparación de las especies cultivadas (Joshi *et al.*, 2018). Tömösközi, Baracskaï, Schönlechner, Berghofer y Lásztity (2009) estudiaron granos de *A. hypochondriacus* cultivados en Hungría y Austria, y encontraron diferencias en el contenido proteico, variando entre 14.2-17.4 %. En otro estudio, Abbasi, Rouzbehan y Rezaei (2012) encontraron que aumentando la tasa de fertilización con nitrógeno, la proteína cruda y la proteína verdadera aumentaban (9 % y 6.42 %, respectivamente) en *A. hypochondriacus*. De igual forma, Sujak, Dziwulska-Hunek y Kornarzynski (2009) demostraron que es posible mejorar tanto la composición como el contenido de aminoácidos de las semillas de amaranto usando métodos de estimulación electromagnética; la estimulación previa con luz láser de helio-neón y campos magnéticos aumentan la proteína cruda en las semillas de amaranto en un 3.4 %.

El contenido de aminoácidos esenciales oscila entre 31 y 45 g/100 g de la proteína total, asemejándose a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana. El perfil de la composición de aminoácidos del amaranto generalmente está más cercano al de las leguminosas a excepción de los aminoácidos que contienen azufre, que están presentes en cantidades más altas en amaranto que en las legumbres (Venskutonis y Kraujalis, 2013). El amaranto es rico en lisina (5.9-8.0 g/100 g de proteína), sin embargo, se puede ver disminuida al calentar las semillas (Tömösközi *et al.*, 2009); también es buena fuente de triptófano. Estos dos aminoácidos son limitantes en otros granos (Grobelnik-Mlakar, Turinek, Jakop, Bavec y Bavec, 2010). La metionina contenida en la semilla de *A. hypochondriacus* representa hasta el 2.3 % de la composición de aminoácidos en semillas de México y República Checa, y son comparativamente más altos que en la mayoría de las especies de leguminosas como soya, frijoles, lentejas o garbanzos (Joshi *et al.*, 2018).

**Tabla II.** Composición de aminoácidos (porcentaje del total de la proteína) de la semilla de *A. hypochondriacus*

Aminoácido	República Checa	Eslovaquia	México
Triptófano	-	1.8	1.3
Metionina	2.3	0.6	2.3
Treonina	4.5	3.3	4.6
Isoleucina	3.8	2.7	4.0
Valina	5.3	3.9	4.4
Lisina	8.0	6.0	6.1
Fenilalanina	6.9	4.7	4.8
Leucina	6.9	4.2	6.2
Tirosina	-	3.7	4.3
Histidina	1.7	3.8	2.7
Arginina	14.5	9.5	8.1
Alanina	6.2	3.3	3.9
Ácido aspártico	10.7	8.2	8.1
Ácido glutámico	17.7	14.6	6.6
Glicina	15.2	6.8	-
Prolina	3.7	2.8	-
Serina	9.3	4.9	-

Adaptada de Dodok *et al.* (1997); Písariková *et al.* (2005); Morales Guerrero *et al.* (2009).

En la tabla II, se pueden observar diferencias notables en la composición de aminoácidos entre el *A. hypochondriacus* cultivado en República Checa (Písariková, Kracmar y Herzig, 2005), el cultivado en Eslovaquia (Dodok, Modhir, Buchtová,

Halásová y Poláček, 1997) y el cultivado en México (Morales Guerrero, Vázquez Mata y Bressani Castignoli, 2009). La semilla de *A. hypochondriacus* cultivado en Eslovaquia presentó las concentraciones de aminoácidos más bajas a excepción de la histidina. Por el contrario, las semillas de la República Checa presentaron concentraciones más altas de valina, lisina, fenilalanina, arginina, alanina, ácido aspártico y ácido glutámico, mientras que la metionina, la treonina, la isoleucina y la leucina no presentaron diferencia entre las semillas de México y República Checa.

Juan, Pastor, Alaiz, Megías y Vioque (2007) estudiaron el perfil de proteínas y la composición de aminoácidos de 11 especies de amaranto silvestres, incluida *A. hypochondriacus* mediante cromatografía de filtración en gel y electroforesis desnaturizante, encontraron que los perfiles de aminoácidos eran similares en todas las especies, con pequeñas variaciones en el peso molecular y cantidades de las principales proteínas en la semilla. Para *A. hypochondriacus* y *A. graecizans*, la composición de aminoácidos fue la más deficiente con limitaciones en 5 aminoácidos esenciales (histidina, metionina, triptófano, fenilalanina y valina).

### 1.1.3. Carbohidratos

Los carbohidratos son la principal fuente de energía de la dieta humana. La semilla de amaranto contiene alrededor del 70 % (b. s.) de carbohidratos almacenados en el perispermo. Las semillas de amaranto se componen principalmente por polisacáridos, el almidón que es el componente principal representa el 62-75 % del peso total de la semilla; la fibra dietética es del 4-5 %. El azúcar principal es la sacarosa en un 1.1-2.4 % seguido de la rafinosa en un 0.5-1.2 %, el inositol, la estaquiosa de 0.02-0.2 % y la maltosa de 0.02-0.4 %. Además, tiene hasta 3 veces mayor contenido de sacarosa comparado con el trigo (Becker *et al.*, 1981; Burisová, Tomasková, Sasinková y Ebringerová, 2001; Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015; Venskutonis y Kraujalis, 2013).

Un componente importante es la fibra dietética, conformada por polisacáridos no digeribles, oligosacáridos, lignina

y otras sustancias asociadas a la planta (Kaur *et al.*, 2010). De acuerdo con Hozová, Kuniak, Moravčíková y Gajdošová (2007) el amaranto contiene más del 25 % del total de la fibra de  $\beta$ -(1,3)-D-glucano insoluble en agua (liquenano), porcentaje que es superado únicamente por la avena. Otros reportes del contenido de fibra indican que la harina de amaranto extruida contiene alrededor de 13.9 % de fibra total, mientras que, en la harina sin procesar, el contenido de fibra total aumenta a 14.6 %, el proceso de extrusión es un factor que modifica el contenido total de fibra, como resultado de este proceso se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015; Repo-Carrasco-Valencia, Peña, Kallio y Salminen, 2009).

#### 1.1.4. Vitaminas y minerales

Los nutrimentos inorgánicos de la semilla de amaranto se encuentran en el epispermo, el endospermo y el germen. Los minerales que integran el amaranto (tabla III) son calcio, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, sodio, cobre y zinc, encontrándose en mayores concentraciones que en otros cereales.

**Tabla III.** Composición de minerales de la semilla de *A. hypochondriacus*

Macrominerales	mg/g	Micronutriente	mg/g
Calcio	1.91-2.57	Cobre	0.02
Fósforo	6.18-6.31	Hierro	0.17
Magnesio	3.34-3.57	Manganeso	0.06
Sodio	1.25-1.66	Zinc	0.05
Potasio	6.07-7.49	-	-

Adaptada de Saunders y Becker (1984); Mustafa *et al.* (2011).

Las vitaminas que destacan son vitaminas del complejo B, incluyendo la niacina (0.5 mg/100 g de semilla), tiamina (0.14 mg/100 g de semilla) y ácido ascórbico (4.5 mg/100 g de semilla). Se puede encontrar también riboflavina (0.34 mg/100 g de semilla), en mayor proporción que en otros cereales, incluso que en la leche aunque en menor cantidad que en el huevo (Morales Guerrero *et al.*, 2009).

#### 1.1.4.1. Tocoferoles y tocotrienoles

Desde hace poco más de dos décadas se tiene reporte de la presencia de tocotrienoles en semillas de amaranto, siendo los más comunes  $\alpha$ -tocopherol (2.97-15.65 mg/kg),  $\beta$ -tocotrienol (5.92-11.47 mg/kg), y el  $\gamma$ -tocotrienol (0.95-8.69 mg/kg).

Al igual que en la extracción de otros compuestos, también se debe tomar en cuenta la técnica utilizada al evaluar los rendimientos obtenidos de los tocoferoles. Bruni, Guerrini, Scalia, Romagnoli y Sacchetti (2002) compararon los métodos tradicionales con la extracción supercrítica con  $\text{CO}_2$  (ESC- $\text{CO}_2$ ) y ultrasonido como coadyuvante en la extracción. Con el tratamiento con ESC- $\text{CO}_2$  existe menor riesgo de degradación de componentes termolábiles y mejores rendimientos en los extractos, obteniendo 47 % de  $\alpha$ -tocopherol y 63 % de  $\beta$ -tocotrienol más, comparado con el tratamiento con ultrasonido, con lo que se logra optimizar el tiempo del proceso de extracción.

Por otra parte, las muestras de amaranto fresco han demostrado tener niveles más altos de tocotrienoles que cuando se almacenan, debido al proceso de rancidez (Lehmann, Putnam y Qureshi, 1994).

#### 1.2. Compuestos bioactivos

Un compuesto bioactivo puede definirse como aquel compuesto en los alimentos que tiene impacto beneficioso a la salud después de su ingesta. Generalmente, estos compuestos se encuentran en cantidades pequeñas en productos vegetales y en aquellos que son ricos en lípidos (Herrera Chalé, *et al.*, 2014).

El amaranto se ha utilizado desde tiempos prehispánicos, debido a las propiedades nutricionales con las que cuenta. En los últimos años ha sido objeto de estudio al evidenciar el contenido de compuestos médicamente activos, además tiene el beneficio de ser libre de gluten. Estudios proponen que las propiedades medicinales que presenta el amaranto se deben a la presencia de péptidos, tocoferoles mixtos, fitoesteroles, escualeno y flavonoides bioactivos, entre otros compuestos que se describen a continuación (Joshi *et al.*, 2018).

### 1.2.1. Péptidos

El amaranto posee secuencias de péptidos que se encuentran inicialmente inactivas en sus proteínas; cuando estas sufren una hidrólisis durante la ingesta o el procesamiento de este producto, los péptidos son liberados y pueden ejercer una acción biológica, lo que le otorga a la semilla capacidad antihipertensiva y antioxidante. Los péptidos que se encuentran en los hidrolizados de amaranto extruidos y sin procesar contienen aminoácidos como la lisina, prolina, histidina, glicina, alanina y treonina, que poseen actividad antioxidante (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015).

La enzima convertidora de angiotensina (ECA) actúa estrechando los vasos sanguíneos, se desarrolla principalmente en el riñón y es soluble en sangre, orina, linfa, edema pulmonar y líquido cefalorraquídeo (Mauer, Exaire y Escalante, 2001). La actividad inhibitoria de la ECA es la principal actividad biológica estudiada en el amaranto (Caselato-Sousa y Amaya-Farfán, 2012). En el *A. hypochondriacus* se han identificado los tetrapéptidos ALEP y VIKP (con valores de IC<sub>50</sub> de 6.32 mM y 175 μM, respectivamente) que inhiben la ECA y tratan la insuficiencia cardíaca y la hipertensión (Vecchi y Añón, 2009).

Por otra parte, se han identificado péptidos a partir de la proteína globulina 11S del amaranto que han mostrado actividad inhibitoria de la ECA y de la DPP-IV (dipeptidil peptidasa), enzima relacionada con el desarrollo de diabetes tipo II, bloqueando la degradación de hormonas y favoreciendo el control glucémico natural en pacientes diabéticos (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015). Se sugiere, entonces, que los péptidos de amaranto podrían utilizarse como ingredientes alimentarios funcionales en la prevención de la diabetes.

Otros estudios (Silva-Sánchez *et al.*, 2008) indican que la proteína de *A. hypochondriacus* podría tener propiedades anticancerosas similares a las de la lunasina de soya, un péptido de 43 aminoácidos aislado de la fracción proteínica de albúminas del cotiledón de la soya con propiedades quimiopreventivas demostradas (Dia, Torres, De Lumen, Erdman y Gonzalez, 2009).

### 1.2.2. Fitoesteroles

En el caso del amaranto, la información reportada de los esteroides presentes en el aceite es muy poca (León-Camacho, García-González y Aparicio, 2001). Los fitoesteroides son esteroides de origen vegetal pertenecientes al grupo de los isoprenoides, y se encuentran de manera natural en los alimentos, particularmente en semillas de oleaginosas y cereales. Su estructura química es similar a la del colesterol, aunque a diferencia de este, que cuenta con 27 átomos de carbono, los fitoesteroides poseen 28 o 29 átomos debido a la presencia de sustituyentes de tipo metilo o etilo en la cadena lateral de la molécula, distribuidos en un núcleo de 17 carbonos en 4 anillos con un grupo 3-β hidroxilo y una cadena carbonada de 9 a 10 carbonos. Estos compuestos se producen a través de la biosíntesis de los isoprenoides en el citoplasma, posterior a 25 reacciones catalizadas por diferentes enzimas. Se generan a partir de moléculas de acetil-CoA y por la actividad enzimática de la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACC), convirtiendo la acetil-CoA en 3-hidroxi-3-metilglutaril CoA, la cual a su vez se reduce a melovato. El melovato mediante procesos sucesivos de fosforilaciones y una descarboxilación es transformado en isoprenoide, el que finalmente da origen a los fitoesteroides. Los fitoesteroides son compuestos importantes en la formación de microdomios en la membrana plasmática en procesos celulares de las plantas (Silva, Pinheiro, Rodríguez, Figueroa y Baginsky, 2016) y se han identificado 250 estructuras diferentes, siendo los más comunes el β-sitosterol, el campesterol y el estigmasterol, los cuales están presentes en la semilla de amaranto (tabla I) (El Gendy *et al.*, 2018).

Los fitoesteroides tienen propiedades hipocolesterolémicas, ya que contribuyen a reducir la absorción de colesterol a través de su solubilización y competencia por espacio en las micelas, ya que poseen una estructura similar y disminuyen el factor de riesgo cardiovascular (Silva *et al.*, 2016).

Se ha reportado que un consumo regular de 1-3 g diarios puede reducir los niveles de colesterol en la sangre hasta en un 15 %, además puede ayudar en la prevención de cáncer, aterosclerosis e inflamaciones (El Gendy *et al.*, 2018). Sin embargo, se calcula que la ingesta diaria de fitoesteroles es de 160-500 mg/día, con lo cual no se alcanza la dosis recomendada para obtener efectos bioactivos en el ser humano (Silva *et al.*, 2016).

Se han encontrado fitoesteroles tanto en el aceite como en las semillas de amaranto, sus cantidades varían entre especies y variedades, sin embargo, cerca del 93 % del total de fitoesteroles es de  $\beta$ -sitosterol (El Gendy *et al.*, 2018). A pesar de que el amaranto es considerado como pseudocereal, posee la mayor concentración de fitoesteroles (178 mg/100 g de semilla), comparado con el resto de los cereales, siendo 5 veces superior a la concentración de la harina de trigo (36 mg/100 g de semilla (tabla IV) (Silva *et al.*, 2016).

**Tabla IV** Concentración de fitoesteroles en alimentos

Cereales	Concentración mg/g
Centeno	110
Trigo	76
Harina de trigo	36
Cebada	83
Avena	52
Maíz	44
Arroz	80
Sorgo	48
Pseudo- cereales	Concentración mg/g
Amaranto	178
Quinoa	83
Alforfón	107

Adaptada de Silva *et al.*, (2016).

Hay varios factores que pueden afectar las concentraciones de los fitoesteroles presentes en los alimentos, como riego deficitario, fertilización y fecha de siembra, sin embargo, se requiere de más estudios para poder usar dichos factores a favor, y lograr mayores concentraciones de estos compuestos (Silva *et al.*, 2016).

### 1.2.3. Escualeno

El escualeno (2, 6, 10, 15, 19, 23- hexametil-2, 6, 10, 14, 18, 22-tetracosahexano) es un ácido triterpeno intermedio en la vía de la biosíntesis del colesterol y su uso es más frecuente en la industria cosmética para productos destinados a la piel; muestra algunas ventajas como agente emoliente, antioxidante, hidratante y antitumoral; posee acción fotoprotectora y es un compuesto termoestable muy efectivo en el tratamiento y envejecimiento de la piel, ayudando en la prevención del daño celular, por lo que es utilizado como material en formulaciones de aplicación tópica, como emulsiones de lípidos y portadores de lípidos nanoestructurados. Además, tiene acción hipocolesterolemica en combinación con otros compuestos, su consumo tiene efecto en la disminución de los niveles de colesterol, y se le relaciona con efectos anticancerígenos de colon, piel y pulmón (Abreu *et al.*, 1995; El Gendy *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2009; Venskutonis y Kraujalis, 2013).

La fuente más importante de escualeno es el aceite de hígado de tiburón y ballena. Debido a los problemas que se pueden llegar a presentar en la extracción y purificación del escualeno proveniente de fuentes animales, se ha considerado la obtención de este compuesto a partir de fuentes vegetales (Venskutonis y Kraujalis, 2013). El aceite de amaranto ha resultado ser una fuente importante de escualeno, ya que la cantidad presente (5.72 g escualeno/100 g de lípidos) es mayor que la que se encuentra en el aceite de oliva, germen de trigo y salvado de arroz, la cual va de 0.1-0.7 % (El Gendy *et al.*, 2018). El contenido de escualeno en el amaranto varía incluso en la misma especie, de acuerdo a las condiciones de cultivo y las técnicas de extracción. El Gendy, *et al.* (2018) reportaron 5.72 g de escualeno/100 g de lípidos totales de semilla de *A. hypochondriacus* (tabla I), mientras que He, Cai, Sun y Corke (2002) obtuvieron 3.6 g escua-

leno/100 g de lípidos, por lo que recomiendan que para conseguir rendimientos de escualeno altos, se deben realizar extracciones y procedimientos con purificaciones en varios pasos.

El tipo de procesamiento al que se someta la semilla para la extracción de escualeno es un factor crucial, ya que afecta la distribución y contenido de este compuesto. Gamel, Mesallam, Damir, Shekib y Linssen (2007) demostraron que la aplicación de tratamiento térmico (180 °C/10 segundos) aumenta el contenido de escualeno. Por otro lado, Tikekar, Ludescher y Karwe (2008) estudiaron la estabilidad de procesamiento del escualeno y la capacidad antioxidante del amaranto reventado y tostado. Los resultados demostraron que el escualeno se mantiene estable durante todas las operaciones de procesamiento, presentando una pérdida del 12 % durante el tostado a 150 °C durante 20 minutos. El escualeno puro resultó ser un antioxidante débil, mientras que el extracto lipófilo de amaranto presentó mayor actividad antioxidante, sugiriendo que los tocotrienoles y otros ingredientes menores también desempeñan un papel como antioxidantes.

#### 1.2.4. Otros compuestos

Otros compuestos que también presentan efecto bioactivo son los polifenoles, los tocoferoles, los tocotrienoles, las saponinas, los taninos, los enoles, los flavonoides, los alcaloides, el glucósido de calcio, los esteroides y los triterpenoides, los cuales tienen acción antiinflamatoria y anticancerogénica (Joshi *et al.*, 2018).

##### 1.2.4.1. Polifenoles

Los principales compuestos que proporcionan la actividad antioxidante en el grano de amaranto son los polifenoles (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015). Barba de la Rosa *et al.* (2009) evaluaron diferentes cultivares de amaranto e identificaron algunos polifenoles como la isoquercetina y la rutina; igualmente, los ácidos fenólicos como los ácidos jeringo y vanílico. López-Mejía, López-Malo y Palou (2014) evaluaron la capacidad antioxidante de los extractos de hojas y semillas del amaranto, concluyeron que ambos tejidos tienen una capacidad antioxi-

dante atribuida no solo a los compuestos fenólicos sino también a la presencia del escualeno.

## 2. Usos, aplicaciones y propiedades de las semillas de amaranto

Las semillas de amaranto son la principal parte de la planta usada como alimento, por lo que tienen muchas aplicaciones. Estas pueden ser sometidas a diferentes tratamientos (inflado, tostado o molienda) para utilizarlas en bebidas o harinas para productos de panificación. El grano reventado se refiere a la semilla que se coloca en comales de barro o metálicos, calentados a fuego de leña o de gas para que se infle. Una vez reventado, se enfría el grano, se criba y se envasa para su almacenamiento y comercialización, o como insumo de otros productos (Ayala *et al.*, 2014; Ayala-Garay *et al.*, 2016).

En México, se producen 79.9 % de productos con grano reventado, 17.2 % en harina y 2.9 % en extruido. El 58.9 % de los productos con amaranto reventado se consume en forma de dulce tradicional (alegrías), además de palanquetas simples, obleas, cubiertos y otros productos, siendo los productores y sus familias, generalmente, quienes procesan la semilla y la comercializan. Además, se usa como suplemento para alimento de animales, en la preparación de granola o para el consumo directo (Ayala-Garay *et al.*, 2016; Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015). En algunas comunidades de México, los granos se hierven y cocinan de manera similar al arroz y el almidón lo que da una textura especial al guiso (Herrera y Montenegro, 2012). La harina de amaranto se ha utilizado también para preparar diferentes productos alimenticios como galletas, pastas, pan, bebidas y tamales (Díaz-Ortega *et al.*, 2004; Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015).

En muchos países europeos, así como en Estados Unidos, el amaranto es utilizado para sustituir el uso del trigo en productos que se incluyen en dietas de personas celiacas, ya que cuenta con albúminas y globulinas de fácil digestión y es libre de gluten, por lo que es factible su aplicación como ingrediente funcional en muchos productos de panificación (Venskutonis y Kraujalis, 2013). La harina elaborada a partir de semilla de amaranto se uti-

liza en productos de cereales para aumentar el valor nutricional y favorecer la digestibilidad, además de mejorar la calidad de las proteínas, el contenido lipídico y el perfil de aminoácidos sin que los aspectos sensoriales se vean afectados (Joshi *et al.*, 2018).

Se ha visto que los diferentes compuestos nutrimentales de la semilla de amaranto, como las globulinas y el almidón, tienen también aplicaciones como ingredientes debido a sus propiedades funcionales. Tandang-Silvas *et al.* (2012) estudiaron las propiedades fisicoquímicas de las globulinas 7S y 11S de las semillas de amaranto, y encontraron que son de alta estabilidad térmica y con buenas propiedades emulsionantes. Por la capacidad de producción de espuma del 44 %, estabilidad de espuma del 96 %, capacidad de absorción de aceite 70.5 %, actividad emulsificante 79.3 % y estabilidad de emulsión de 93.7 %, a pH de 7.0, estas globulinas del grano de amaranto pueden ser utilizadas en la industria alimentaria con gran versatilidad (Morales Guerrero *et al.*, 2009).

Por otra parte, el comportamiento del almidón es diferente según la especie de la que se extraiga. La harina de *A. hypochondriacus* tiene una temperatura de pastado más alta y una viscosidad, descomposición y retroceso máximos más bajos que los presentes en harina elaborada a partir de semillas de *A. caudatus* (Kaur *et al.*, 2010). Bello-Pérez y Paredes-López (2009) estudiaron los procesos que se llevan cabo durante el manejo y elaboración de la harina y encontraron que estos afectan también la estructura cristalina del almidón y el grado de gelatinización (durante calentamiento), sin embargo, se ha visto que la integridad granular se conserva (González *et al.*, 2007). También se han estudiado las condiciones de remojo durante la molienda húmeda ácida del grano de amaranto, demostrando cambios en el módulo viscoelástico y las propiedades térmicas del almidón de amaranto por efecto de la temperatura (40-60 °C) (Loubes, Calzetta Resio, Tolaba y Suarez, 2012).

Los beneficios bioactivos del amaranto pueden aplicarse también en la elaboración de películas comestibles incorporando los compuestos bioactivos de las semillas, los cuales actúan como agentes antimicrobianos y antioxidantes para que de esta manera se pueda dar al producto mayor vida de anaquel o contribuir

con las propiedades sensoriales (Montes Hernández *et al.*, 2017). Rizzello *et al.* (2009) estudiaron 4 péptidos con actividad antifúngica en el extracto crudo soluble en agua de semillas de amaranto, y encontraron una concentración mínima inhibitoria de 5 mg de péptidos/ml para inhibir especies de hongos aisladas de panaderías, durante el almacenamiento de panes sin gluten y de harina de trigo. El desarrollo de películas comestibles ha cobrado interés actualmente debido a las necesidades de inocuidad, seguridad alimentaria y el aumento en el uso de materiales biodegradables.

## CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

La influencia que tienen los factores externos, como el lugar de cultivo y las condiciones de cosecha, entre otros factores, tienen gran impacto en la composición nutrimental y en los compuestos bioactivos de la semilla de *A. hypochondriacus*, es por eso que su caracterización sigue resultando interesante y da pauta a seguir investigándola. Se debe fomentar la difusión del valor nutrimental y propiedades funcionales del amaranto para un mejor aprovechamiento del producto, así como el desarrollo de técnicas y tratamientos que permitan mantener los componentes nutrimentales de la semilla. Finalmente, queda aún mucha investigación por realizar sobre las múltiples formas de consumo del amaranto, aprovechando sus propiedades funcionales y de compuestos bioactivos, para utilizarlo como ingrediente.

## AGRADECIMIENTOS

La autora A. E. Peláez-Castañeda agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) —hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)— por el financiamiento para sus estudios de posgrado.

## REFERENCIAS

- Abbasi, D., Rouzbehan, Y. y Rezaei, J. (2012). Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). *Animal Feed and Science Technology*, 171(1), 6-13.
- Abreu, M., Hernández, M., Castillo, A., Sampere, E. y Martín, M. (1995). Evaluación nutricional y toxicológica de dos variedades de amarantho de semillas de color negro (*A. urangensis* y *A. maurensis*). *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 9(2), 94-99.
- Albores Palacios, R. Y. (2015). *Desarrollo de galletas tipo barritas de amarantho con camote*. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Ciudad de México.
- Álvarez-Jubete, L., Arendt, E. K. y Gallagher, E. (2009). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(54), 240-257.
- Ayala, A. V., Rivas-Valencia, P., Cortes-Espinoza, L., de la O, M., Escobedo-López, D. y Espitia-Rangel, E. (2014). La rentabilidad del cultivo de amarantho *Amaranthus Spp* en la región centro de México. *Ciencia Ergo-sum*, 21(1); 47-54.
- Ayala-Garay, A. V., Espitia-Rangel, E., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G. y Almaguer-Vargas, G. (2016). Análisis de la cadena del valor de amarantho en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(1), 87-104.
- Barba de la Rosa, A. P., Fomsgaard, I. S., Laursen, B., Mortensen, A. G., Olvera-Martínez, L., Silva-Sánchez C., ... y De León-Rodríguez, A. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 149(5), 117-21.
- Barros, C. y Buenrostro, M. (1997). *Amaranto. Fuente maravillosa de sabor y salud*. (1a. ed.) México: Grijalbo.
- Becker, R., Wheeler, E. L., Lorenz, K., Stafford, A. E., Grosjean, O. K., Betschart, A. A. y Saunders, R. M. (1981). A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science*, 46(4), 1175-80.
- Bello-Pérez, L. A. y Paredes-López, O. (2009). Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 50-65.
- Bruni, R., Guerrini, A., Scalia, S., Romagnoli, C. y Sacchetti, G. (2002). Rapid techniques for the extraction of vitamin E isomers from *Amaranthus caudatus* seeds: ultrasonic and supercritical fluid extraction. *Phytochemical Analysis*, 13(5), 257-61. doi: 10.1002/pca.651
- Burisová, A., Tomasková, B., Sasinková, V. y Ebringerová, A. (2001). Isolation and characterization of the non-starch polysaccharides of amaranth seeds. *Chemical Papers*, 55(4), 254-60.
- Carne y amarantho se integran a canasta básica: AMLO. (29 de enero de 2019). La Jornada Maya. <https://www.lajornadamaya.mx/nacional/134150/Carne-y-amaranto-se-integran-a-canasta-basica--AMLO>
- Caselato-Sousa, V. M. y Amaya-Farfán, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, 77, 93-104. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x
- Casique, G., Martínez, N., Gonzalez, L. E. y Delano, J. P. (2014). The tissue-specific expression of genes, spanning the complete betacyanin biosynthetic pathway, is differentially induced by insect herbivory, drought and salinity stress in grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). Submitted to the EMBL/GenBank/DBJ databases.
- Castrillon-Arbeláez, P. A., Martínez-Gallardo, N. A., Avilés Arnaut, H., Tiessen, A. y Délano-Frier, J. P. (2012). Metabolic and enzymatic changes associated with carbon mobilization, utilization and replenishment triggered in grain amaranth (*Amaranthus cruentus*) in response to partial defoliation by mechanical injury or insect herbivory. *BMC Plant Biology*, 12, 163.
- Cavieres, E., Piñeira, M. B. y Negrete C. (2016). Impacto de la incorporación de harina de amarantho en las propiedades físicas y sensoriales en galletas. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas*, 41, 41-47.
- Dia, V., Torres, S., De Lumen, B. O. Erdman, L. E. y Gonzalez De Mejia, E. (2009). Presence of lunasin in plasma of men after soy protein consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1260-1266. doi: 10.1021/jf803303k
- Díaz-Ortega, A. C., Escalante-Estrada, J. A., Trinidad-Santos, A., Sánchez-García, P., Mapes-Sánchez, C. y Martínez-Moreno, D. (2004). Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amarantho en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana*, 22(1), 109-116.
- Dodok, L., Modhir, A. A., Buchtová, V., Halásová, G. y Poláček, I. (1997). Import

- tance and utilization of amaranth in the food industry. Part 2. Composition of amino acids and fatty acids. *Nahrung-Food*, 41(2), 108-110. doi: 10.1002/food.19970410211
- El Gendy, A. N. G., Tavarini, S., Conte, G., Pistelli, L., Hendawy, S. F., Omer, E. A. y Angelini, L.G. (2018). Yield and qualitative characterisation of seeds of *Amaranthus hypochondriacus* L. and *Amaranthus cruentus* L. grown in central Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 13, 63-73. doi:10.4081/ija.2017.993
- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, E. C., Núñez-Colín, C. A. y Escobedo-López, D. (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 427-437.
- FAO. (2005). *The state of food insecurity in the world*. Roma: FAO.
- Gamel, T. H., Mesallam, A. S., Damir, A. A., Shekib, L. A. y Linssen J. P. (2007). Characterization of amaranth seed oils. *Journal of Food Lipids*, 14, 323-34.
- García-González, A., Flores-Vazquez, A. L., Barba de la Rosa, A. P., Vázquez-Martínez, E. A. y Ruiz-García, J. (2013). Amaranth 7S globulin, Langmuir films and its interaction with 1- $\alpha$ -dipalmitoylphosphatidylcholine at the air-fluid interface. *Journal of Physical Chemistry B*, 117, 14046-58. doi: 10.1021/jp405944u
- García-Ortiz, L. A. (2016). *Propuesta de innovación de una galleta como alimento funcional usando harina de amaranto*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Tenancingo. Tenancingo, Estado de México.
- González, R., Tosí, E., Ré, E., Añón, M. C., Pilosof, A. M. R. y Martínez, K. (2007). Amaranth starch-rich fraction properties modified by high-temperature heating. *Food Chemistry*, 103, 927-34.
- Grobelnik-Mlakar, S., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M. y Bavec, F. (2010). Grain amaranth as an alternative and prospective crop in temperate climate. *Journal for Geography*, 5(1), 135-146.
- He, H. P., Cai, Y. Z., Sun, M. y Corke, H. (2002). Extraction and purification of squalene from *Amaranthus* grain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 368-72.
- Herrera, S. y Montenegro, A. (2012). El Amaranto: prodigioso alimento para la longevidad y la vida. *Kalpana*, 8, 50-66.
- Herrera-Chalé, F., Betancur-Ancona, D. y Segura-Campos, M. R. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad; péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 10-20. doi:10.3305/nh.2014.29.1.6990
- Hozová, B., Kuniak, L., Moravčíková, P. y Gajdošová, A. (2007). Determination of water-insoluble  $\beta$ -D-glucan in the whole-grain cereals and pseudocereals. *Czech Journal of Food Science*, 25(6), 316-324.
- Huang, Z. R., Lin, Y. K. y Fang, J. Y. (2009). Biological and pharmacological activities of squalene and related compounds: potential uses in cosmetic dermatology. *Molecules*, 14(1), 540-54.
- Jahaniaval, F., Kakuda, Y. y Marcone, M. F. (2000). Fatty acid and triacylglycerol composition of seed oils of five *Amaranthus* accessions and their comparison to other oils. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 77(8), 847-52.
- Joshi, D., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., ... y Stetter, M. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(9), 1807-1823. doi: 10.1007/s00122-018-3138-y
- Juan, R., Pastor, J., Alaiz, M., Megías, C. y Vioque, J. (2007). Seed protein characterization of eleven species of *Amaranthus*. *Grasas y Aceites* 58(1), 49-55.
- Kachiguma, N. K., Mwase, W., Maliro, M. y Damaliphetsa, A. (2015). Chemical and mineral composition of amaranth (*Amaranthus* L.) species collected from central Malawi. *Journal of Food Reserch*, 4(4), 92-102.
- Kaur, S., Singh, N. y Rana, J. C. (2010). *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*, 123(4), 1227-1234.
- Lehmann, J. W., Putnam, D. H. y Qureshi, A. A. (1994). Vitamin-E isomers in grain amaranths (*Amaranthus* spp). *Lipids* 29(3), 177-81.
- León-Camacho, M., García-González, D. L. y Aparicio, R. (2001). A detailed and comprehensive study of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) oil fatty profile. *European Food Research Technology*, 213 (4-5), 349-355. doi: 10.1007/s002170100340
- López-Mejía, O. A., López-Malo, A. y Palou, E. (2014). Capacidad antioxidante de subproductos de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(1), 50-58.
- Loubes, M. A., Calzetta Resio, A. N., Tolaba, M. P. y Suarez, C. (2012). Mechanical and

- thermal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure. *LWT-Food Science and Technology*, 46(2), 519-524. doi: 10.1016/j.lwt.2011.11.015
- Mauer-Díaz, K., Exaire-Murad, J. E. y Escalante-Acosta, B. (2001). Importancia de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) en la circulación coronaria. *Archivos de Cardiología de México*, 71(4), 278-285.
- Montes-Hernández, A. I., Oropeza-González, R. A., Padrón-Pereira, C. A., Araya-Quesada, Y., Wexler-Goering L. y Cubero-Castillo, E. (2017). Películas biodegradables con propiedades bioactivas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 057-089.
- Montoya-Rodríguez, A., Gómez-Favela, M., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J. y González de Mejía, E. (2015). Identification of bioactive peptide sequences from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed proteins and their potential role in the prevention of chronic diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 139-158. doi: 10.1111/1541-4337.12125
- Morales-Guerrero, J. C., Vázquez-Mata, N. y Bressani-Castignoli, R. (2009). *El amaranto: características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutricio* (1a ed.). México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.
- Mustafa, A., Seguin, P. y Gélinas, B. (2011). Chemical composition, dietary fibre, tannins and minerals of grain amaranth genotypes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(7), 750-754. doi:10.3109/09637486.2011.575770
- Palma-Colindres, L. J. (2014). *Valor nutritivo y evaluación de aceptabilidad de una galleta formulada a base de trigo, amaranto y ajonjolí en niños escolares*. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.
- Pedersen, B., Kalinowski, L. S. y Eggum, B. O. (1987). The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 36(4), 309-324.
- Písaríková, B., Kráčmar, S. y Herzig, I. (2005). Amino acid contents and biological value of protein in various amaranth species. *Czech Journal of Food Sciences*, 50(4), 169-174.
- Raihan, M. y Saini, C. S. (2017). Evaluation of various properties of composite flour from oats, sorghum, amaranth and wheat flour and production of cookies thereof. *International Food Research Journal*, 24(6), 2278-2284.
- Ramírez-Medelez, M. C., Aguilar-Ramírez, M. B., Miguel, R. N., Bolaños-García, V. M., García-Hernández, E. y Soriano-García, M. (2003). Amino acid sequence, biochemical characterization, and comparative modeling of a nonspecific lipid transfer protein from *Amaranthus hypochondriacus*. *Archives Biochemistry and Biophysics*, 415(1), 24-33.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H. y Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2): 219-224. doi: /10.1016/j.jcs.2008.10.003
- Rizzello, C. G., Coda, R., De Angelis, M., Di Cagno, R., Carnevali, P. y Gobetti, M. (2009). Long-term fungal inhibitory activity of water-soluble extract from *Amaranthus spp.* seeds during storage of gluten-free and wheat flour breads. *International Journal of Food Microbiology*, 131(2-3), 189-96. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.02.025
- Rodríguez-Rodríguez, J., Amaya, C. A., Caballero, P., Alanís, M. G., Aguilera, C., Báez, J. G., Moreno, S., y Núñez, M. A. (2015). Factores que influyen en el contenido de escualeno, fitoesteroles totales y esterificados en el subproducto ácidos grasos destilados de soya para su potencial aprovechamiento. *Nova Scientia*, 7(14), 268-285.
- Rosa, de la A. P., Herrera-Estrella, A., Utsumi, S. y Paredes-López, O. (1996). Molecular characterization, cloning and structural analysis of a cDNA encoding an amaranth globulin. *Journal Plant Physiology*, 149(5), 527-32.
- Saunders, R. M. y Becker, R. (1984). Amaranthus: a potential food and feed resource. En Y. Pomeranz, *Advances in cereal science and technology* (pp. 357-397). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Silva, S., Pinheiro, A. C., Rodríguez, L., Figueroa, V. y Baginsky, C. (2016). Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(1), 17-24.
- Silva-Sanchez, C., De la Rosa, A. P. B., Leon-Galván, M. F., De Lumen, B. O., De Leon-Rodríguez, A. y González de Mejía, E. (2008). Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4), 1233-1240.
- Sujak, A. y Dziwulska-Hunek, A. (2010). Minerals and fatty acids of amaranth

- seeds subjected to pre-sowing electromagnetic stimulation. *International Agrophysics*, 24(4), 375-379.
- Sujak, A., Dziwulska-Hunek, A. y Kornarzynski, K. (2009). Compositional and nutritional values of amaranth seeds after pre-sowing He-Ne laser light and alternating magnetic field treatment. *International Agrophysics*, 23(1), 81-86.
- Tandang-Silvas, M. R., Cabanos, C. S., Peña, L. D. C., De La Rosa, A. P. B., Osuna-Castro, J. A., Utsumi, S.,... y Maruyama, N. (2012). Crystal structure of a major seed storage protein, 11S proglubulin, from *Amaranthus hypochondriacus*: insight into its physico-chemical properties. *Food Chemistry*, 135(2), 819-26. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.04.135
- Tikekar, R. V., Ludescher, R. D. y Karwe, M. V. (2008). Processing stability of squalene in amaranth and antioxidant potential of amaranth extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10675-10678. doi: 10.1021/jf801729m
- Tömösközi, S., Baracska, I., Schönlechner, R., Berghofer, E. y Lásztity, R. (2009). Comparative study of composition and technological quality of amaranth I. Gross chemical composition, amino acid and mineral content. *Acta Alimentaria*, 38(3), 341-347. doi: 10.1556/AAlim.38.2009.3.8
- Torres-Merlo, O. X., Vallejos-Cazar, A. F. y Castañeda-Garzón, J. M. (2017). Productos a base de amaranto como alternativas nutricionales para la lonchera escolar y su importancia en el desarrollo infantil. *Holopraxis Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1(2), 117-139.
- Vecchi, B. y Añón, M. C. (2009). ACE inhibitory tetrapeptides from *Amaranthus hypochondriacus* 11s globulin. *Phytochemistry*, 70(7), 864-870. doi:10.1016/j.phytochem.2009.04.006
- Velasco-Lozano, A. M. (2016). Los cuerpos divinos. El amaranto: comida ritual y cotidiana. *Arqueología Mexicana*, 138, 26-33
- Venskutonis, P. y Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: A review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 381-412. doi:10.1111/1541-4337.12021
- Zheleznov, A. V., Solonenko, L. P. y Zheleznova, N. B. (1997). Seed proteins of the wild and the cultivated *Amaranthus* species. *Euphytica*, 97(2), 177-182.