

Importancia del amaranto en la sociedad, cultura, alimentación y salud

-Primera parte-

DRA. VERÓNICA CEPEDA CORNEJO*, M. EN C. IGNACIO MARTÍNEZ MARTÍNEZ**, DRA. SARA HIRÁN MORÁN BAÑUELOS***

*Laboratorio de Biotecnología Molecular y de Cultivos, EMA 6, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla

**Laboratorio de investigación en tripanosomátidos, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México

***Investigadora independiente



Figura 1. Plantas de *Amaranthus hypochondriacus* en parcelas productivas de Tochimilco, Puebla, México, durante el Ciclo Primavera-Verano 2023. Foto: Dra. Verónica Cepeda Cornejo

Introducción

El amaranto constituye uno de los recursos bióticos de potencial importancia para la alimentación y salud humana; tiene relevancia en términos ecológicos por su tolerancia al estrés hídrico y destaca en los ámbitos social y cultural por haber sido domesticado en Mesoamérica y diseminado al resto del mundo. La diversidad biológica del género *Amaranthus* comprende 75 especies (Bayón, 2015) con distribución

en regiones tropicales y templadas de Asia, América, África, Europa y Oceanía, de las cuales, 40 se consideran nativas de América. Etimológicamente, la palabra que define al género *Amaranthus* procede del griego *amarantos* que significa que no se marchita (Das, 2016); mientras, en términos botánicos, el grupo pertenece a la familia *Amaranthaceae*. Son plantas dicotiledóneas que cuentan con metabolismo C4, una ruta metabólica que mejora la

eficiencia en el uso del agua, por lo que pueden crecer en zonas con bajo nivel de humedad; su sistema sexual es dioico (que tiene ambos sexos) o monoico (con un solo sexo), sus flores se agrupan en inflorescencias que pueden ser autofecundadas por acción del viento (Jurado-Rentería, 1988). El género se agrupa en tres subgéneros: *Amaranthus subg. Amaranthus* L. (13 especies monoicas), *Amaranthus subg. Acnida* (L.) Aellen ex K. R. Robertson (10 especies dioicas) y *Amaranthus subg. Albersia* (Hunth) Gren. & Godr. (52 especies monoicas) (Bayón 2015).

Las hojas y semillas del subgénero *Amaranthus* han sido consumidas por poblaciones humanas por miles de años; durante la época prehispánica eran parte importante de la dieta de los antiguos mexicanos, consumidas frecuentemente en combinación con el maíz (Hernández-Garciadiego y Herrerías-Guerra, 1998). Aunque hoy las especies más importantes para la producción de grano son tres: *Amaranthus hypochondriacus* y *A. cruentus* en México y América Central (Figura 1); y *A. caudatus* en Perú, Ecuador, Bolivia e India. *A. hypochondriacus* se distribuye desde altitudes bajas a altas, *A. cruentus* entre altitudes bajas a medias y *A. caudatus* en elevaciones mayores en India y América Central (Espitia et al., 2010; Das, 2016).

La importancia cultural del amaranto se remonta a la época prehispánica; así lo muestran las imágenes en los códices que retratan la planta en la vida cotidiana, siendo entregado como tributo y como elemento clave en las ceremonias rituales. Los hallazgos arqueológicos en Tehuacán, Puebla y Tlapacoyan, Estado de México, sugieren que su presencia data de hace 5 mil 500 y 7 mil años, respectivamente (Rojas, 1991). Diversas fuentes señalan que con amaranto se elaboraba el *tzoalli*, especie de pan que podía contener semillas de maíz y que se amasaba con miel para dar forma a las entidades divinas y colocarlas en los

altares o depósitos rituales (Durán, 1984; Montúfar-López, 2012; Morán-Bañuelos et al., 2012). Esta práctica de elaborar figuras de amaranto permanece hasta hoy en día en distintas regiones de México y se puede evidenciar los días 1 y 2 de noviembre cuando en los altares de muertos se colocan figuras conocidas como “calaveritas”, elaboradas con semillas de amaranto aglutinadas con miel.

En México, colectivos y sectores académicos se han dedicado a destacar la historia milenaria del amaranto para motivar su revaloración histórica, su reconocimiento como patrimonio biológico y cultural, y mejor aún para que sean aprovechados sus nutrientes y compuestos funcionales, que ahora sabemos son valiosos para la humanidad. El objetivo de este trabajo es resaltar, sin pretender ser exhaustivos, las experiencias pioneras y los esfuerzos más recientes que han actuado como catalizadores para aprovechar el potencial alimenticio y farmacológico del amaranto, consideramos que dichas acciones lo han colocado en el foco de interés científico y sociocultural de amplios sectores de la población.

El amaranto en la sociedad

Hace más de cuatro décadas el amaranto comenzó a captar la atención de los círculos académicos, especialmente en aquellos dedicados a las ciencias de la alimentación y la farmacología. La aparición de publicaciones científicas y documentos de divulgación que daban cuenta de sus atributos alimenticios fue clave en el aumento del interés en estas plantas.

Entre las publicaciones científicas y documentos de divulgación que despertaron la curiosidad está la obra *Plantas tropicales subexplotadas con valor económico prometedor*, publicada en 1975 por la Academia de Ciencias de Estados Unidos, que consiste en un informe sobre plantas prometedoras para mejorar la calidad de

La importancia cultural del amaranto se remonta a la época prehispánica; así lo muestran las imágenes en los códices que retratan la planta en la vida cotidiana, siendo entregado como tributo y como elemento clave en las ceremonias rituales

Los primeros trabajos científicos sobre amaranto en México se remontan al final de la década de 1970. Sus resultados fueron expuestos y compilados en 1986, cuando investigadores se reunieron en el Primer Seminario Nacional del Amaranto organizado en Chapingo por el doctor Antonio Trinidad Santos (1933-2018) y en 1991 se llevó a cabo el Primer Congreso Internacional del Amaranto (Reyna, 1999)



En la época colonial desarrollaron la técnica de elaboración del dulce típico denominado alegría; hoy en día también se encuentra en otras presentaciones como las palanquetas, que contienen otros ingredientes.
Foto: pixabay.com

El amaranto proviene de plantas dicotiledóneas que cuentan con metabolismo C4 y pueden crecer en zonas con bajo nivel de humedad.

Foto: pixabay.com

vida en áreas tropicales, donde se ubican la mayoría de las poblaciones de bajos ingresos del mundo (National Research Council, 1975); este informe está dirigido a entes gubernamentales, tomadores de decisiones, personal de asistencia técnica e investigadores en agricultura, nutrición y disciplinas preocupados por ayudar a los países en desarrollo a lograr una explotación más eficiente y equilibrada de sus recursos biológicos.

En 1984, y también por parte de la Academia de Ciencias, se publica el informe de un panel *ad hoc* del Comité Asesor sobre Tecnología para el Desarrollo Inter-

nacional Oficina de Asuntos Internacionales del Consejo Nacional de Investigación titulado: "Amaranto. Perspectivas modernas para un cultivo antiguo", donde se presentan de manera específica las ventajas nutricionales que ofrece (NAS, 1984).

Los primeros trabajos científicos sobre amaranto en México se remontan al final de la década de 1970. Sus resultados fueron expuestos y compilados en 1986, cuando investigadores se reunieron en el Primer Seminario Nacional del Amaranto organizado en Chapingo por el doctor Antonio Trinidad Santos (1933-2018) y en 1991 se llevó a cabo el Primer Congreso Internacional del Amaranto (Reyna, 1999). Ambas reuniones atendieron temas como las prácticas agro-nómicas para la obtención de mejores rendimientos del cultivo, su uso como forraje en la ganadería y, tuvo especial énfasis su uso como fuente de macronutrientes para los seres humanos y su inclusión como patrimonio cultural en Mesoamérica.

De forma paralela a los avances en términos académico-científicos de los 70 y 80, en las comunidades productoras del

altiplano central se lograron progresos en incremento de la superficie de cultivo y mejoramiento de las tecnologías de transformación. En Tlaxcala y Puebla, se amplió paulatinamente la superficie de cultivo, específicamente en los municipios de Cuapixtla, Tlaxcala, llegando en 2015 a 2 mil 491 hectáreas (Ayala *et al.*, 2017; Barrales, 2018), mientras en Puebla la producción de amaranto se amplió a cuatro regiones: en las faldas del volcán Popocatepetl en los municipios de Cohuecan, Huaquechula, Atzitzihuacan, Santa Isabel Cholula, San Jerónimo Tecuanipan y Tochmilco; en las faldas del volcán Iztaccíhuatl, en los municipios de San Felipe Teotlalcingo, San Salvador El Verde y San Martín Texmelucan; en la Mixteca Poblana en San Juan Ixcaquixtla, Tepexi de Rodríguez y San Martín Atexcatl; y la cuarta en el municipio de Tehuacán llegando así en 2016 a 2 mil 89 hectáreas (Aragón y Tapia, 2009; Argumedo y Ortiz, 2018) de las cuales, en años recientes, ha cobrado más importancia por el volumen de producción la región de Tochmilco-Atzitzihuacan-Cohuecan, alcanzando en todo el estado un máximo de 4 mil hectáreas dedicadas a este cultivo.

En cuanto a la tecnología para el aprovechamiento del cultivo destaca la experiencia en el estado de Morelos que, en los años 80, gracias a la labor del grupo Tlalnahuac de la comunidad de Huazulco, municipio de Temoac, se diseñó, elaboró y operó una máquina reventadora a gran escala que superaba por mucho la cantidad de amaranto reventado en comparación con el trabajo hecho de manera artesanal. A partir de entonces, el municipio de Temoac se convirtió en el principal centro transformador de amaranto, teniendo como fuente de materia prima la zona productora de ese mismo municipio y alrededores, pero surtiéndose principalmente de la producción de los estados de Tlaxcala y Puebla, que para entonces estaban incrementando la superficie dedicada al cultivo.

Los estados de México, Oaxaca, Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí también han incrementado paulatinamente la superficie cultivada con amaranto; sin embargo, la proporción que aportan a la producción nacional se ubica por debajo de 15%, aun así, sus experiencias resultan relevantes en términos de concientización a los consumidores y representan una alternativa para la producción primaria en sus regiones.

Experiencias recientes en promoción del consumo

En adelante se destacan los esfuerzos que han buscado sensibilizar a la sociedad mexicana sobre la necesidad de integrar al amaranto en esquemas alimentarios saludables. En principio, la comunidad de Santiago Tulyehualco, alcaldía Xochimilco, cuenta con la tradición ancestral del cultivo y consumo de la semilla. En la época colonial desarrollaron la técnica de elaboración del dulce típico denominado alegría y desde hace 500 años se convirtieron en el referente y centro distribuidor del producto hacia los estados aledaños al entonces Distrito Federal: Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Querétaro y Guanajuato. La historia de la alegría en la comunidad llegó a una nueva etapa cuando en 1971 se realizó por primera vez la Feria de la Alegría y el Olivo en su plaza principal, y desde entonces sirve de escaparate para que transformadores, comercializadores y consumidores de otras partes del país e incluso extranjeros conozcan la oferta de productos elaborados en las empresas familiares de Tulyehualco (Morán-Bañuelos *et al.*, 2012).

Derivado del interés científico nacional e internacional, se organizaron agricultores, académicos y personas que participan en alguno de los eslabones de la cadena de valor con el objetivo de promover de forma colectiva su conocimiento, cultivo y consumo en el país. El primer esfuerzo fue la conformación en la década de los 80 del

En la época colonial desarrollaron la técnica de elaboración del dulce típico denominado alegría y desde hace 500 años se convirtieron en el referente y centro distribuidor del producto hacia los estados aledaños al entonces Distrito Federal: Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Querétaro y Guanajuato

Crean en 1996 la Sociedad Cooperativa Amaranto de Mesoamérica para el Mundo, la cual, entre 2006 y 2008, logró alianzas con gobiernos locales para la producción de alimentos en esquemas de economía solidaria, así como estudios de nutrición dirigidos a la población infantil y embarazadas (Centéotl, 2023)

siglo pasado, de la Asociación Mexicana del Amaranto (AMA, 2023), que se presenta como “una asociación civil sin ánimo lucrativo, integrada por profesionales y personas interesadas en promover la integración de la cadena productiva del amaranto en México y establecer estrategias, objetivos y líneas de acción para consolidar la producción, el consumo y el aprovechamiento integral del amaranto”. Como referencia de sus actividades se puede leer en su página de Internet de acceso público y que por varios años constituyó una reserva de información para quien estaba interesado en conocer el cultivo. Destaca en esta asociación la participación del doctor Alfredo Sánchez Marroquín, químico, bacteriólogo y parasitólogo de Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN) con maestría en microbiología y botánica en la Escuela de Graduados de la Universidad Northwestern en Evanston, Illinois, y un doctorado en microbiología en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), fue un destacado científico en el área de la microbiología y el estudio del potencial alimenticio del amaranto. Recibió premios entre 1972 y 1995, incluyendo el Nacional de Ciencias y Artes; fue director técnico de San Miguel de Proyectos Agropecuarios Sociedad de Producción Rural (SPR de RS) desde su fundación en 1986 y hasta su fallecimiento en 2000. También es importante la participación del doctor Benito Manrique de Lara Soria (1960-2014), médico egresado de la UNAM, con maestría en neurofisiología y posgrado en inteligencia artificial, quien emprendió un proyecto en la comunidad Huixcazdhá, un sitio con rezago en servicios básicos y educativos, además de una alta desnutrición infantil. Ahí ambos aplicaron tecnología, entonces de vanguardia, para el desarrollo integral de sus habitantes, la mejora en la calidad de vida en términos de salud, nutrición, educación, infraestructura, acceso a servicios y comuni-

cación, entre otros, proyecto que desde 2011 se constituye como Utopía Huixcazdhá, AC.

En esa misma década Raúl Hernández Garciadiego y Gisela Herrerías Guerra conformaron la asociación civil Alternativas y Procesos de Participación Social y el Grupo Cooperativo Quali, Alimentos Nutritivos de Amaranto Orgánico, con los objetivos de regeneración ecológica en la región mixteca-popoloca de Puebla y ofrecer una amplia variedad de alimentos elaborados con el amaranto cultivado por la Unión de Sembradores de Amaranto de más de 60 pueblos de la región. Para ello desarrollaron la maquinaria y procesos adecuados a sus condiciones y ellos destacan que su programa de nutrición infantil “ha desarrollado una metodología para rescatar a miles de niños de la desnutrición que padecían, mediante la intervención de menos de un año de duración en cada cohorte”. A la fecha, tanto la asociación civil como el grupo cooperativo siguen vigentes y han sido galardonados con premios a escala nacional e internacional, por ejemplo, el premio internacional de Slow Food por la Defensa de la Biodiversidad (Hernández-Garciadiego y Herrerías-Guerra, 1998; Rudiño, 2018).

De forma paralela, con el impulso de Othón Cuevas Córdova (1965-2020) se funda en 1988 el Centro de Desarrollo Comunitario Centéotl AC en Zimatlán, Oaxaca, cuyo objetivo es que las familias campesinas de la región superen la pobreza con dignidad. Para ello promueven el ahorro, emprendedurismo, la inclusión financiera y soberanía alimentaria, integrando a este esquema el amaranto como alternativa nutricional y económica. En esa línea, crean en 1996 la Sociedad Cooperativa Amaranto de Mesoamérica para el Mundo, la cual, entre 2006 y 2008, logró alianzas con gobiernos locales para la producción de alimentos en esquemas de economía solidaria, así como estudios de nutrición dirigidos a la población infantil y embarazadas

(Centéotl, 2023). También en Oaxaca, en 2003 inició operaciones Puente a la Salud Comunitaria, AC, asociación sin fines de lucro con sede en Estados Unidos, fundada por Katherine Lorenz y Kate Seely e impulsada durante la dirección ejecutiva de Pete Noll y Mauricio del Villar con un enfoque holístico y comunitario para la producción, promoción y consumo de amaranto en las comunidades rurales a través de un enfoque participativo, especialmente en nutrición, bienestar económico y agricultura sostenible en 15 municipios y 30 localidades. Para 2011 implementaron la estrategia de economía social, donde los grupos de microempresas de transformación compran el grano para elaborar productos con base en el amaranto que incluyen cereal y granola reventados, galletas, bocadillos salados, tostadas y harina, una alternativa de horneado sin gluten. Gracias a los esfuerzos de ambas asociaciones en Oaxaca, cada 15 de octubre se celebra el Día Estatal del Amaranto, declarado por la 64 legislatura local mediante el decreto número 1267 y publicado en el *Periódico Oficial del Estado*. Con la creación de las redes regionales de amaranto de los Valles Centrales en 2016 y la Mixteca en 2017, se impulsó el acceso a alimentos, producción sostenible teniendo como eje el amaranto (Puente a la Salud Comunitaria AC, 2015, 2018).

Si bien estos esfuerzos tuvieron resultados a escala local, fueron aislados y escasamente reportados por medios oficiales. Fue hasta 2013 que se conformó el Grupo de Enlace para la Promoción del Amaranto en México, organización multidisciplinaria sin fines de lucro cuyo objetivo es llevar a cabo acciones a escala nacional para beneficiar a la población rural, campesina e indígena, con la generación de técnicas para la transformación del grano y hojas de amaranto, entre otros. Promueven los beneficios del consumo del amaranto, apoyados por los sectores académicos, científico y tecnológico; en-



El sistema sexual de las flores de amaranto puede ser dioico (que tiene ambos sexos) o monoico (con un solo sexo), sus flores se agrupan en inflorescencias que pueden ser autofecundadas por acción del viento.

Foto: pixabay.com



En 2011 fue implementada la estrategia de economía social, donde grupos de microempresas de transformación comenzaron a comprar el grano para elaborar productos con base en amaranto que incluyen cereal y granola reventados, galletas, bocadillos salados, tostadas y harina, una alternativa de horneado sin gluten.

Foto: pixabay.com

tre sus miembros se encuentran personas con amplias trayectorias en la producción, transformación y comercialización, científicos que, para entonces habían publicado artículos científicos, reportes de investigaciones, libros especializados, entre otros documentos que dan cuenta, de los resultados, destacando su valor nutricional y agronómico, (Morán-Bañuelos et al., 2016).

La primera coordinadora fue la doctora Hirán Morán Bañuelos. Durante su periodo se efectuaron recorridos por las principales transformadoras de amaranto en Morelos, Tlaxcala, Puebla, Ciudad de México y Oaxaca con el objetivo de establecer vínculos y realizar el primer Congreso Nacional del Amaranto, en agosto de

Figura 2. Momentos del 1er Congreso Mundial del Amaranto celebrado en 2018 en la ciudad de Cholula, Puebla y regiones productoras de Puebla y Tlaxcala, México.

Foto: Dra. Verónica Cepeda Cornejo



2014, en la Universidad Autónoma Chapingo y sus contribuciones abordaron la importancia del amaranto en México, usos en la nutrición y salud humana, potencial nutracéutico y funcional. Se redactó la declaratoria para el futuro del amaranto en México que enlista las líneas estratégicas que se deberán seguir para lograr que el amaranto en México contribuya a la generación de bienestar, salud y aumento en la calidad de vida entre la población mexicana (Grupo de Enlace para la Promoción del amaranto en México).

En 2015, el mismo grupo de enlace junto con el Colegio de Postgraduados Campus Puebla, instituciones y organizaciones de amaranteros celebraron el Encuentro Nacional de Productores de Amaranto, con el propósito de “generar un diálogo de saberes e intercambio de experiencias entre los productores de amaranto del país, para analizar los problemas de la producción, transformación y consumo e identificar opciones para proyectar y posicionar al amaranto como cultivo económicamente importante y como alimento fundamental para el pueblo de México”; en 2017, bajo la coordinación de Mauricio del Villar Za-

macona, se celebró el segundo Congreso Nacional del Amaranto en la Cámara de Diputados; en 2016, bajo la asesoría del doctor Gerardo Ramírez Romero (1955-2017) investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y su gestión ante la Secretaría de Relaciones Exteriores, se puso en marcha el Proyecto Bilateral México-Chile para promover el cultivo y consumo en ambos países y derivado del mismo se celebró el Congreso Mundial del Amaranto en la Ciudad de Cholula, Puebla, que incluyó recorridos a las parcelas productivas en las principales regiones productoras, elaboración de alegrías e intercambio de saberes con los productores, de pequeña y mediana escala (Figura 2).

El objetivo básico que ha guiado estos esfuerzos es estructurar los eslabones de la cadena de valor para influir en políticas públicas en términos de alimentación saludable, lo cual no se detuvo en tiempos de pandemia y bajo la nueva coordinación a cargo de Sergio Barrales Domínguez se realizó el tercer Congreso Nacional a través de plataformas virtuales que derivó en la publicación *Tópicos Selectos del Amaranto*. Escenarios en tiempos de

pandemia (Barrales et al., 2022). Para dar continuidad a sus esfuerzos de promoción, cada 15 de octubre se celebra el Día Nacional del Amaranto, declarado en 2017 por el Grupo de Enlace y organizaciones afines, acuerdo tomado dentro del marco de la XXII Feria Rural en la Universidad Autónoma Chapingo.

Valor proteico y funcional de la semilla de amaranto

El amaranto posee características que lo sitúan como un alimento con gran valor nutricional. Se suele consumir en formas diversas, ya sea moliendo la semilla cruda, o bien, como semilla reventada (expandida con calor).

Reportes señalan un contenido de proteína entre 14 y 18%, algunos incluso hasta 22%; en cuanto a grasas lo ubican entre 6.3 a 8.1%, fibra entre 2.2 a 5.8% y de cenizas entre 2.8 a 4.4% (Tovar-Pérez et al., 2019; Morales, 2020; Calderón, 2022). Al compararlo con los principales cereales se muestra su excelente valor nutricional; por ejemplo, el contenido de proteína en el amaranto con respecto al trigo es de 1.27 veces mayor, el contenido de grasa es 1.71 veces mayor en relación con el maíz y las cenizas 2.15 veces mayor con respecto al trigo (Huerta-Ocampo et al. 2012). Los cereales, como el maíz, trigo, avena, arroz y cebada, pertenecen a la familia Poaceae, son monocotiledóneas y sus semillas son ricas en almidón, en cambio los pseudocereales son dicotiledóneas y aunque no pertenecen a las gramíneas poseen importantes contenidos de almidón almacenado en el perispermo. El amaranto, la quinoa (*Chenopodium quinoa*) y el alforfón o trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) representan a los pseudocereales que se cultivan en menor proporción que los cereales a pesar de que su valor nutricional es superior. Por ejemplo, el triptófano y la li-

sina son particularmente bajos en los cereales y son abundantes en los pseudocereales (Das, 2016).

De acuerdo con López y colaboradores (2017) los aminoácidos presentes en la semilla de amaranto son 15: alanina, arginina, cisteína, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, tirosina, prolina, serina, treonina y valina; los mismos que contienen la quinoa (*Chenopodium quinoa*) y la chía (*Salvia hispanica*), productos que han recibido amplia atención internacional. Es así como el amaranto proporciona cantidades importantes de aminoácidos esenciales, que los humanos requerimos para nuestra dieta. Particularmente, el contenido de lisina; presenta hasta tres veces más que en el trigo, el arroz y el maíz (Huerta-Ocampo et al. 2012). Sumado a las proteínas, posee calcio, hierro, vitaminas A, C y K, riboflavina (B2), niacina (B3), vitamina B6 y folato (Das, 2016).

Uno más de los beneficios obtenidos por las semillas de amaranto es la presencia de tres aceites: escualeno, tocoferoles y fitoesteroles. Los aceites se pueden extraer por varias técnicas; por ejemplo, extracción de fluidos supercríticos, extracción mediante solventes fenol-cloroformo y prensado por expulsor. El estudio de Czaplicki y colaboradores (2012), detecta altos niveles de escualeno obtenidos por extracción de fluidos supercríticos empleando CO₂, la concentración fue de 6.95 g/100 g de aceite, en tanto que para tocoferoles alcanza 131.7 mg/100 g de aceite; el b-tocoferol alcanzó 40% y los esteroides alcanzaron 2.49 g/100 g de aceite. Particularmente el aceite de escualeno ha tomado gran importancia en la industria cosmética porque posee cualidades hidratantes para la piel y lo contiene también el aceite de oliva. Es interesante que el amaranto contenga estos valiosos aceites, además del elevado valor nutricional arriba comentado.

El amaranto posee características que lo sitúan como un alimento con gran valor nutricional. Se suele consumir en formas diversas, ya sea moliendo la semilla cruda, o bien, como semilla reventada (expandida con calor)



Figura 3. Máquina de uso portátil para expansión o reventado de semillas de amaranto, diseñada en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla, Puebla.

Foto: Dra. Verónica Cepeda Cornejo

Uso del amaranto en los alimentos

Los alimentos que se pueden preparar con amaranto son variados. Se pueden emplear tanto las hojas como las semillas. Las hojas del amaranto se consumen en diversos platillos, desde agua hasta tortillas mexicanas, en ensaladas o guisadas con jitomate, cebolla y otros condimentos. Las semillas crudas se trituran para elaborar una harina con la que se preparan alimentos: panes, galletas (Calderón-de la Barca et al., 2010), atoles, pastas (Cárdenas-Hernández et al., 2016), barras nutritivas (Singh et al., 2022), entre otros.

Cuando las semillas de amaranto son sometidas a temperaturas elevadas para expandirlas o reventarlas, se modifican sus características organolépticas: al cambiar su textura las propiedades sensoriales mejoran y al modificar la cantidad de proteína disponible su valor nutricional aumenta (Reynaga y Castelú, 2017). El método tradicional de reventado consiste en colocar la semilla sobre un comal de barro a 260°C y mover con una escoba hecha de fibras naturales, por aproximadamente 15 segundos (Damián-Reyes, 2020). Hoy día los instrumentos y tecnología desarrollados permiten que el proceso genere mayores rendimientos y sea más seguro para quienes lo realizan, el método industrial emplea máquinas que utilizan aire caliente para reventar el grano, con un rendimiento de 80 a 160 kg/hora (Muñoz et al., 2005). En el Colegio de Posgraduados, Campus Puebla, bajo el liderazgo del doctor Adrián Argumedo Macías se han desarrollado máquinas reventadoras de fácil manejo para las personas que producen amaranto en las comunidades agrícolas del centro del país e incluso en otros países (Figura 3) (Morán-Bañuelos et al., 2016; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural 2020; La Verdad de Tamaulipas, 2023). El amaranto al ser reventado puede producir tres distintas formas: trébol, ochos y esférico, la forma de trébol es

la forma que presenta mayor volumen de expansión, mejor calidad físicoquímica, nutrimental y mayor rendimiento comercial (Tavitas, 2011; Damián-Reyes, 2020).

Una vez que se reventó el amaranto se amasa con algún endulzante que aglutine, como la miel, y así se elaboran las tradicionales "alegrías". También se muele hasta obtener harina y con ésta se preparan alimentos, como panes, galletas, pastas y atoles.

Los alimentos preparados con amaranto poseen la ventaja de ser libres de gluten, lo que representa una opción para los celíacos quienes no pueden consumir harina de trigo. De modo semejante, en la búsqueda de alimentos funcionales se ha encontrado útil y saludable incorporar al amaranto en la dieta, Calderón-de la Barca y colaboradores encontraron que la mejor formulación para el pan es 60-70% de harina de amaranto reventado y el resto harina entera, para así obtener una textura homogénea. De esta manera el contenido de proteína se mejora en relación con la receta control que no contiene amaranto (Calderón-de la Barca et al., 2010).

Actualmente se explora la elaboración de alimentos clasificados como funcionales porque mejoran la salud y reducen el riesgo de contraer enfermedades (Beltrán de Heredia, 2016). Un ejemplo es la generación de barras nutritivas a partir de granos de amaranto (60%), avena (25%) y plátano en polvo (15%), esta combinación presenta un elevado contenido de proteínas, minerales, fibra dietaria y aminoácidos esenciales; además de presentar actividad antioxidante (Singh et al., 2022). La adición de harina de amaranto, quinoa y avena a las tortillas, mejora notablemente su contenido de proteína, fibra dietaria total y digestibilidad, elevándose 31.4% y 27.1%, respectivamente (Vázquez-Villegas et al., 2021).



Figura 4. Las diversas aplicaciones médicas de los derivados del amaranto (péptidos antimicrobianos, escualeno, aceite de las semillas, etc.). Figura elaborada exprofeso para la publicación con fragmentos de imágenes disponibles en Google®. Infografía: M. en C. Ignacio Martínez Martínez

Interés farmacológico

En la última década se ha explorado esta planta como fuente de moléculas con aplicaciones médicas, sumándose así a los hallazgos de grupos de investigación, quienes encontraron moléculas bioactivas con potencial antioxidante y propiedades antitumorales en plantas como nopal y chayote (Aguñiga-Sánchez et al., 2020; Antunes-Ricardo et al., 2014). En el caso del amaranto buena parte del trabajo de investigación se ha centrado en la semilla, por ser la estructura que almacena la mayor parte de los componentes nutrimentales (particularmente proteínas) y por ser más fácil de manipular en el laboratorio.

Si bien la semilla de amaranto tiene una amplia variedad de proteínas, metodológicamente es complicado evaluar las propiedades de éstas en su estado nativo, por ello como primera aproximación se prefiere obtener fragmentos (péptidos) que puedan ser evaluados con más detalle. Para lograrlo, se usa un proceso cono-

cido como digestión *in vitro* que consiste ya sea en hidrólisis asistida enzimáticamente, empleando alcalasa, flavourzyme, pepsina, pancreatina; o bien mediante hidrólisis bacteriana empleando organismos del género *Lactobacillus*. En ambos casos el objetivo es generar péptidos a partir de las proteínas totales de la semilla. En este proceso puede usarse tanto la semilla intacta como la semilla germinada previamente, en este último caso la obtención de todos los componentes se facilita y los enriquece en cantidad (Sandoval-Sicairos et al., 2020). Asimismo, se ha explorado el uso de otros derivados, como el aceite obtenido por la compresión o prensado de la semilla, para evaluar sus propiedades y su potencial uso en medicina.

Los productos bioactivos derivados del amaranto han sido analizados para establecer su actividad biológica y se ha encontrado que algunos de ellos tienen propiedades antifúngicas, antihipertensivas, anticoagulantes y antioxidantes (Figura 4).

Los alimentos preparados con amaranto poseen la ventaja de ser libres de gluten, lo que representa una opción para los celíacos quienes no pueden consumir harina de trigo

Importancia del amaranto en la sociedad, cultura, alimentación y salud

Segunda parte

DRA. VERÓNICA CEPEDA CORNEJO*, M. EN C. IGNACIO MARTÍNEZ MARTÍNEZ**, DRA. SARA HIRÁN MORÁN BAÑUELOS***

*Laboratorio de Biotecnología Molecular y de Cultivos, EMA 6, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

**Laboratorio de investigación en tripanosomátidos, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

***Investigadora independiente.



Cuando el grano de amaranto se hace pasar por un lecho fluidizado, con temperaturas entre 190 y 250 °C, se logra expandir su volumen hasta seis veces y así se vuelve apto para su consumo directo. Foto: Sara Hirán Morán Bañuelos

A continuación, se aborda cada una de estas propiedades y sus aplicaciones.

Propiedades antifúngicas

El hongo *Candida albicans* reside en la cavidad oral de 75% de la población mundial en forma de comensal y puede provocar

cuadros de candidiasis vaginal en 75% de las mujeres infectadas. Se sabe que la forma de levadura (comensal) puede transformarse a la forma invasiva (hifas), la cual aumenta su adherencia a los tejidos y puede formar biofilms (películas de bacterias que aíslan al resto y las protegen de factores

externos como fármacos o estrés ambiental). El tratamiento de esta parasitosis actualmente se basa en el uso de anfotericina B, la cual presenta dos desventajas: la generación de poblaciones resistentes al fármaco y su alta citotoxicidad (Lee et al., 2021; Mayer et al., 2013). Por ello, grupos de investigación buscan moléculas con propiedades antifúngicas, poco tóxicas que puedan emplearse en el tratamiento de esta infección. Se ha encontrado que péptidos derivados de proteínas del amaranto pueden funcionar como antimicrobianos, pues tienen la capacidad de reducir la formación de biofilms, así como reducir la transformación de la levadura a hifas. Ambas propiedades son importantes pues reducen la posibilidad de que *C. albicans* afecte al portador. Algunos trabajos han propuesto que estos beneficios pudieran obtenerse con el consumo directo de los productos de amaranto o bien por formulaciones comerciales disponibles como suplemento alimenticio (Beema-Shafreen et al., 2019). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de desarrollar un fármaco basado en estas evidencias.

Un efecto antimicrobiano similar ha sido encontrado en extractos acuosos y etanólicos obtenidos de brotes de plantas del género *Amaranthus*, ya que reducen el crecimiento de *C. albicans* y en menor proporción de *Candida glabrata* (patógeno emergente que afecta principalmente a personas con inmunodeficiencias) (Jimoh et al., 2020). Otros trabajos han propuesto que el aceite de amaranto también puede potenciar el efecto fungicida de compuestos como la terbinafina (un antimicótico que interfiere con la síntesis de la pared celular) reduciendo la dosis requerida y las reacciones adversas asociadas (De Vita et al., 2021).

Diversos trabajos han reportado el aislamiento y caracterización de péptidos

antimicrobianos derivados de las proteínas del amaranto. Uno es Ay-AMP, obtenido a partir de semillas de *Amaranthus hypochondriacus*, y dos más obtenidos de *Amaranthus caudatus* (Ac-AMP1 y Ac-AMP2) que contienen un dominio de unión a quitina, lo cual les permite degradar este polisacárido presente en la pared celular de los hongos. Con ello se ha logrado inhibir el crecimiento de *Candida albicans*, así como algunas especies de los géneros *Fusarium*, *Geotrichum* y *Aspergillus*, patógenos oportunistas causantes de infecciones severas en pacientes inmunocomprometidos (Broekaert et al., 1992; Rivillas-Acevedo y Soriano-García, 2007).

Propiedades antihipertensivas

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la hipertensión (presión arterial por encima de 140/90 mmHg) es el principal factor de riesgo para desarrollar una enfermedad cardiovascular y es considerado un factor de riesgo asociado a diferentes comorbilidades en niños, jóvenes y adultos mayores. La incidencia de este padecimiento ha incrementado en la última década, por lo que actualmente afecta 30-48% de la población. El tratamiento farmacológico se basa en inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), los cuales a pesar de ser eficientes presentan algunos efectos secundarios como aumento de potasio en la sangre, hipotensión, dolores de cabeza y/o pérdida de sentido del gusto, lo cual dificulta que los pacientes se adhieran al tratamiento. Por ello, se buscan otras alternativas que tengan el mismo efecto sobre la ECA, pero que sean menos agresivos contra el paciente.

El aceite de amaranto, obtenido por la prensa de las semillas, contiene altas can-

El aceite de amaranto, obtenido por la prensa de las semillas, contiene altas cantidades de ácidos grasos poliinsaturados y escualeno

Las propiedades anticoagulantes de los derivados del amaranto han sido poco estudiadas, pero se sabe que los extractos hidrolizados de las proteínas de amaranto retrasan los tiempos de coagulación in vitro y tienen efectos favorables inhibiendo la formación de trombos en modelos animales (Sabbione et al., 2016)

tidades de ácidos grasos poliinsaturados y escualeno. Este último es un aceite natural similar a los lípidos de la piel y que al absorberse prácticamente no deja residuos. Inicialmente se obtenía del aceite de hígado de tiburón, de ahí su nombre, pero recientemente se ha encontrado en diversas fuentes vegetales, siendo particularmente abundante en el aceite de oliva y de amaranto. Tradicionalmente esta molécula ha sido usada en la industria cosmética por sus propiedades hidratantes, emolientes y antioxidantes (Huang et al., 2009). Algunos trabajos han propuesto que el escualeno puede reducir significativamente los niveles de colesterol y triglicéridos en sangre, al menos en algunos modelos animales, lo cual podría reducir el riesgo de padecimientos cardíacos (Liu et al., 2009). Por ello, también se ha evaluado la capacidad del aceite de amaranto para reducir el contenido de lípidos en sangre en modelos animales. Se ha encontrado que hámsters alimentados con dietas altas en colesterol y aceite de amaranto, no aumentan el colesterol y lipoproteínas de baja densidad en sangre. Por ello, algunos investigadores han propuesto que la administración de aceite de amaranto podría ser un coadyuvante en el tratamiento de pacientes con hipertensión y enfermedades cardíacas asociadas a dislipidemias (Martirosyan et al., 2007).

Otra línea de investigación ha explorado las propiedades de algunos péptidos, obtenidos por digestión enzimática de las proteínas de amaranto, que tienen la capacidad de inhibir a la ECA y a la enzima renina, ambas involucradas en los procesos de vasoconstricción que conducen a un cuadro de hipertensión (Quiroga et al., 2017; Ramírez-Torres et al., 2017). Esta interferencia reduce el riesgo de daño en un modelo de ratas con hipertensión. Otros

datos sugieren que algunos de estos péptidos inducen la producción de óxido nítrico por células endoteliales, favoreciendo la vasodilatación de las venas y arterias (Barba-de la Rosa et al., 2010).

Propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes

La diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) caracterizada por elevados niveles de glucosa en la sangre, es un serio problema de salud a escala mundial, particularmente por los daños severos a corazón, vasos sanguíneos, ojos, riñones y sistema nervioso. La mortalidad por este padecimiento se ha incrementado en los últimos años y se estima que alcanzará hasta 190 millones de pacientes en 2040. En mayo de 2021 la Asamblea Mundial de la Salud (máximo órgano de decisión de la OMS) estableció que se debía fortalecer la prevención como medida de mitigación. Se planteó la necesidad de cambiar los estilos de vida promoviendo mayor actividad física y el consumo de alimentos menos ricos en grasa y azúcares refinados, pero de ser posible, más ricos en fibra vegetal. Estos últimos podrían además ser fuente natural de moléculas hipoglucemiantes para reducir el riesgo de síndrome metabólico (padecimiento muy relacionado a la DMT2) y controlar los niveles de glucosa antes que se establezca la enfermedad. Para ello se han explorado fuentes de compuestos naturales con estas propiedades, entre ellos el amaranto.

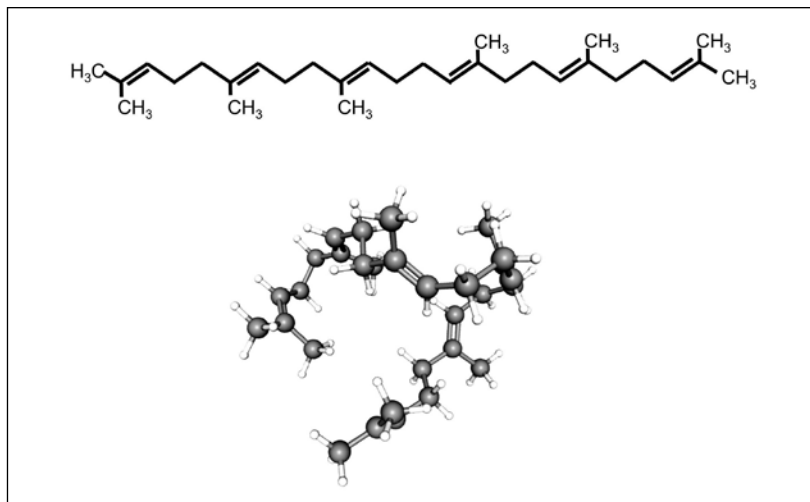
La obtención de productos fermentados a partir del amaranto y su capacidad para favorecer un ambiente antioxidante, así como controlar los niveles de azúcar en la sangre (hipoglucemiante) se han explorado recientemente por diversos grupos de trabajo (Hernández-García et al., 2022) y se ha demostrado que sus extractos eta-

nólicos y metanólicos tienen la capacidad de reducir los niveles de glucosa en sangre, y de colesterol total, así como inducir la secreción de insulina y mejorar la tolerancia oral a la glucosa en modelos de ratas diabéticas, lo cual abre la posibilidad de observar un efecto similar en humanos (Balasubramanian et al., 2017; Zambrana et al., 2018).

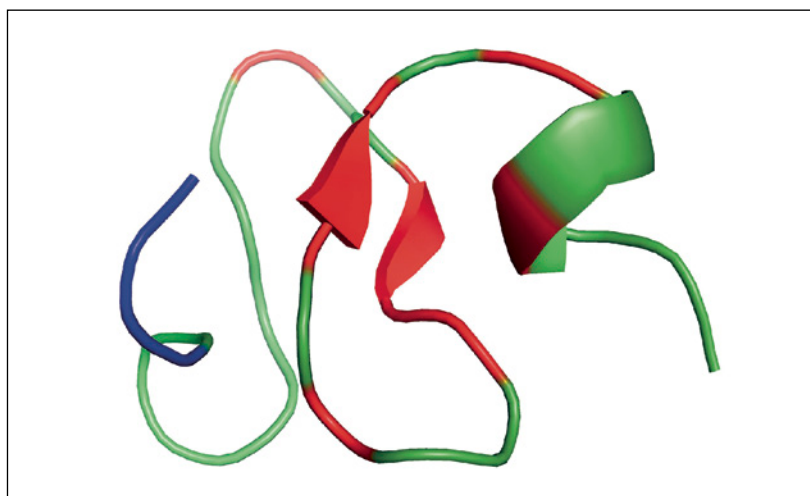
Si bien es necesario realizar más investigación, hoy se considera que el uso de la proteína de amaranto, nativa o fermentada, así como algunos polisacáridos presentes en los extractos totales (tanto de semillas, como de partes aéreas de la planta en desarrollo), pueden ser una fuente importante de antioxidantes que pueden reducir la peroxidación de lípidos en modelos animales de diabetes, lo cual podría aprovecharse para complementar productos alimenticios que apoyen en el control de esta condición médica (Bavarva y Narasimhacharya, 2013; Karamac et al., 2019; Tang et al., 2020).

Propiedades anticoagulantes

La formación de trombos (coágulos) en venas y arterias, que evitan el paso de sangre, oxígeno y nutrientes a diversos órganos, son objeto de estudio pues pueden causar daños severos como infarto cerebral. Por ello las fuentes naturales de antitrombóticos son importantes, particularmente si pueden formar parte de la dieta diaria. Las propiedades anticoagulantes de los derivados del amaranto han sido poco estudiadas, pero se sabe que los extractos hidrolizados de las proteínas de amaranto retrasan los tiempos de coagulación in vitro y tienen efectos favorables inhibiendo la formación de trombos en modelos animales (Sabbione et al., 2016). Algunos investigadores realizan actualmente búsquedas in silico (computacionales) de péptidos



Estructura del escualeno. Es el ácido graso poliinsaturado más abundante en el grano de amaranto. En su estructura 2D (arriba) y 3D pueden verse los átomos que lo conforman, en su arreglo lineal y la disposición espacial, respectivamente. Fuente: Representación 2D por el M. en C. Ignacio Martínez Martínez. Representación 3D tomada de PubChem

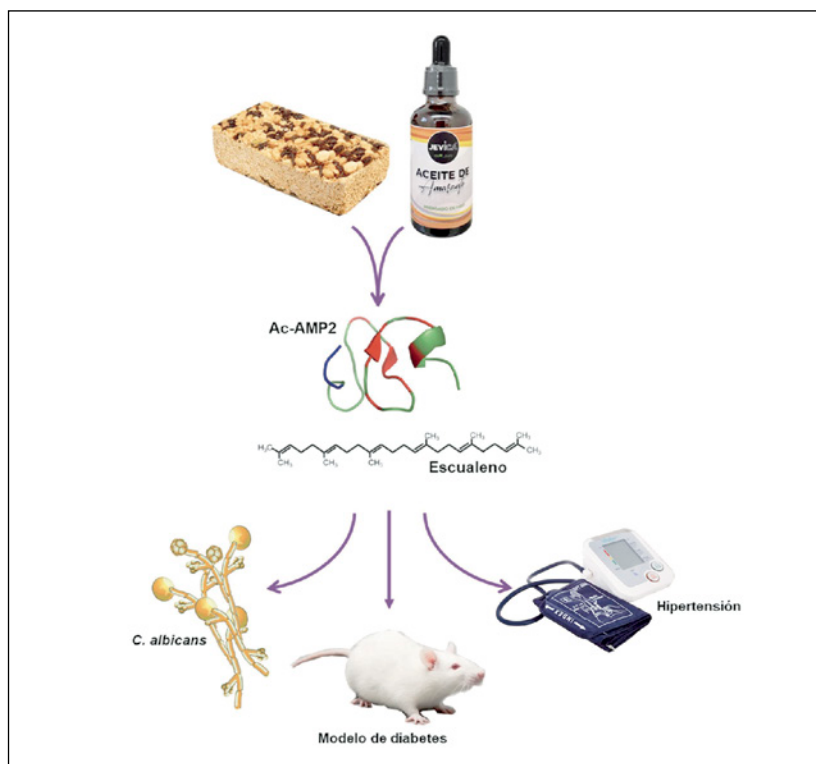


Modelo 3D del péptido antimicrobiano Ac-AMP2 derivado de *Amaranthus caudatus* que consta de 30 aminoácidos. En color azul se indica el extremo N-terminal. En color rojo se indican los aminoácidos que se unen a la quitina (como se indica en el texto), los cuales podrían tener efecto antifúngico contra el patógeno *C. albicans*. Fuente: Tomada del Protein Data Bank (PDB, 1ZWU), visualizada mediante PyMol

candidatos con actividad antitrombótica, a partir de las secuencias de las principales proteínas presentes en el amaranto, esto supone una estrategia que podría rendir frutos en el corto plazo (Montoya-Rodríguez et al., 2015).

Investigación por grupos mexicanos

Algunos grupos de investigación en Méxi-



Se ha propuesto que los alimentos preparados con grano de amaranto y el aceite obtenido de dichos granos, son fuentes de péptidos (como el Ac-AMP2 de 30 aminoácidos) y lípidos (como el escualeno); estos tienen propiedades antifúngicas, hipoglucemiantes que reducen la incidencia de diabetes y antihipertensivas. Fuente: Figura elaborada con fragmentos de imágenes disponibles en Google y las plataformas públicas Protein Data Bank y la PubChem

co han contribuido a evaluar los usos potenciales del amaranto. Un ejemplo es la investigación que se realiza en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, del Instituto Politécnico Nacional, en la cual un grupo de investigación ha empleado procesos de fermentación del germinado de amaranto con el fin de obtener una bebida con alto valor nutricional y con propiedades antioxidantes. Esto lo consiguieron al fermentar al amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) mediante la bacteria *Lactobacillus plantarum*, obteniendo un producto con una capacidad antioxidante incrementada respecto al producto fermentado tradicional (mediante *Lactobacillus casei* Shirota). Esta bebida fermentada no láctea podría ser consumida por personas intolerantes a la lactosa que se verían beneficiadas por la presencia de probióticos y la

capacidad antioxidante e hipoglucemiantes que demostró este producto. De esta forma se podría tener una alternativa para las personas que padecen de diabetes (Hernández-García et al., 2022)

Otro grupo en la misma institución se ha encargado de probar la eficacia de liposomas (estructuras lipídicas huecas) que contienen una combinación de lunasina (péptido obtenido de la soya) y materia insaponificable de amaranto (la fracción que es soluble sólo en solventes orgánicos, rica en la molécula escualeno) para prevenir el melanoma (un tipo de cáncer de piel) en un modelo de ratón. Sus resultados indican que cuando esta combinación se aplica sobre la piel del ratón hay una reducción significativa en el tamaño del tumor, pero el mejor efecto se consigue cuando se aplican de forma subcutánea. Al parecer el efecto se debe a que esta combinación induce la apoptosis de las células tumorales (Castañeda-Reyes et al., 2022)

Por otro lado, un grupo de investigación del Instituto Tecnológico de Veracruz se ha encargado de determinar la capacidad antihipertensiva de diversos péptidos obtenidos de proteínas del amaranto, que fueron hidrolizadas por bacterias (*L. plantarum* y *Lactobacillus helveticus*). Sus resultados indican que al usar algunos de esos péptidos en combinación con la quelación de zinc se puede obtener hasta 46% de inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (proteína que participa en la vasoconstricción y favorece la hipertensión). Dichos resultados podrían abrir el camino para mejorar el tratamiento actual de la hipertensión mediante productos derivados del amaranto (Sánchez-López et al., 2021).

Finalmente, algunos trabajos de investigación desarrollados en colaboración entre la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad Autónoma



Amaranthus hypochondriacus es una especie de amaranto que se cultiva ampliamente en el Estado de México y Ciudad de México. Esta planta muestra una variación fenotípica significativa, y una de las características más llamativas es el color y tamaño de sus inflorescencias (panoja). Además de su uso agrícola, también se aprecia por su valor ornamental.
Foto: Sara Hirán Morán Bañuelos

Metropolitana Iztapalapa y la Universidad Autónoma del Estado de México han contribuido a la identificación de péptidos obtenidos del *Amaranthus hypochondriacus* con propiedades antihipertensivas, antioxidantes y antitrombóticas que plantean diversas posibilidades de aplicación en padecimientos cardíacos y metabólicos como la DMT2 (Ayala-Niño et al., 2022). Estos constituyen solo algunos ejemplos del trabajo realizado por científicos mexicanos para posicionar al amaranto no solo como una alternativa nutricional, sino como una fuente de moléculas y compuestos bioactivos con importantes aplicaciones para la salud humana.

Consideraciones finales

El amaranto posee un valor alimenticio destacado, en gran parte debido a su significado cultural ancestral en las comunidades de México, su rica composición nutricional

y las posibles aplicaciones farmacológicas que se están investigando. Entre estas investigaciones se incluyen las propiedades antitumorales, antiinflamatorias y antimiláricas de productos derivados de diversas especies de amaranto. Este hecho sugiere que los beneficios potenciales de esta planta para la humanidad están lejos de haber sido completamente explorados.

Pese a estos atributos, el consumo de amaranto en la dieta diaria es limitado. A lo largo de las últimas cuatro décadas, se han realizado esfuerzos para concienciar y difundir estos beneficios tanto en la sociedad mexicana como en otras naciones de la región. No obstante, el progreso ha sido lento y restringido debido a la persistente falta de interés y la falta de inclusión del amaranto en políticas públicas relacionadas con la producción primaria, la alimentación y la salud, así como a la asignación insuficiente de recursos para la investigación en

El amaranto posee un valor alimenticio destacado, en gran parte debido a su significado cultural ancestral en las comunidades de México, su rica composición nutricional y las posibles aplicaciones farmacológicas que se están investigando

ciencia, tecnología e innovación. Por tanto, este escrito tiene como propósito contribuir a un necesario llamado de atención para una mayor consideración y aprecio del amaranto.

Bibliografía

- Aguñiga-Sánchez, I., Soto-Hernández, M., Cadenal-Iñiguez, J., Suwalsky, M., Colina, J. R., Castillo, I., Rosado-Pérez, J., Mendoza-Núñez, V. M., & Santiago-Orsorio, E. (2020). Phytochemical Analysis and Antioxidant and Anti-Inflammatory Capacity of the Extracts of Fruits of the *Sechium Hybrid*. *Molecules*, 25(20). <https://doi.org/10.3390/molecules25204637>
- AMA (Asociación Mexicana del Amaranto). Consulta 1 de septiembre de 2023. <http://www.amaranto.com.mx/>
- Antunes-Ricardo, M., Moreno-García, B. E., Gutiérrez-Urbe, J. A., Aráiz-Hernández, D., Álvarez, M. M., & Serna-Saldivar, S. O. (2014). Induction of apoptosis in colon cancer cells treated with isorhamnetin glycosides from *Opuntia ficus-indica* pads. *Plant Foods Hum Nutr*, 69(4), 331-336. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0438-5>
- Aragón, G. A., y Tapia, R. A. M. (2009). Amaranto orgánico: métodos alternativos para el control de plagas y enfermedades. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Alternativas y procesos de participación Social AC Puebla, México. pág. 7
- Argumedo M., A. y Ortiz T., E. (2018). Puebla: Retos y perspectivas de la producción del amaranto. In: Mauricio del Villar y otros (Coord.) *Amaranto. Semilla ancestral, contribución a la soberanía alimentaria de México*. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 105-108.
- Ayala, A. A., Espitia R. E., Márquez B. S., Muñiz R. E., Escobedo L. D. (2017). *La cadena de valor de amaranto en México. Descripción, análisis y retos*. Plaza y Valdés Ed. México. pp. 47-50.
- Ayala-Niño, A., Castañeda-Ovando, A., Jaimez-Ordaz, J., Rodríguez-Serrano, G. M., Sánchez-Franco, J. A., & González-Olivares, L. G. (2022). Novel bioactive peptides sequences released by in vitro digestion of proteins isolated from *Amaranthus hypochondriacus*. *Nat Prod Res*, 36(13), 3485-3488. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1862837>
- Balasubramanian, T., Karthikeyan, M., Muhammed Anees, K. P., Kadeeja, C. P., & Jaseela, K. (2017). Antidiabetic and Antioxidant Potentials of *Amaranthus hybridus* in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *J Diet Suppl*, 14(4), 395-410. <https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1265037>
- Barba-de la Rosa, A. P., Montoya, A. B., Martínez-Cuevas, P., Hernández-Ledesma, B., León-Galván, M. F., De León-Rodríguez, A., & González, C. (2010). Tryptic amaranth glutelin digests induce endothelial nitric oxide production through inhibition of ACE: antihypertensive role of amaranth peptides. *Nitric Oxide*, 23(2), 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2010.04.006>
- Barrales D., P. (2018). La visión y los retos de los productores de amaranto. In: Mauricio del Villar y otros (Coord.) *Amaranto. Semilla ancestral, contribución a la soberanía alimentaria de México*. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 121-124.
- Barrales D., J. S., Morán B., S. H. y Argumedo M., A. (2022). Amaranto, alimentación y producción en la agricultura familiar. In: Tópicos Selectos del Amaranto. Escenarios en tiempos de pandemia. 200 p.
- Bavarva, J. H., & Narasimhacharya, A. V. (2013). Systematic study to evaluate anti-diabetic potential of *Amaranthus spinosus* on type-1 and type-2 diabetes. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*, 59 Suppl, O1818-1825.
- Bayón, N.D. (2015). Revisión taxonómica de las especies monoicas de *Amaranthus* (*Amaranthaceae*). *Amaranthus subg. Amaranthus y Amaranthus subg. Albersia*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 101(2): 261-383.
- Beema-Shafreen, R., Seema, S., Martinez-Ayala, A. L., Lozano-Grande, M. A., Robles-Sánchez, M., Szterk, A., Grishko, M., Hanuka, E., Katrich, E., & Gorinstein, S. (2019). Binding and potential antibiofilm activities of *Amaranthus* proteins against *Candida albicans*. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 183, 110479. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110479>
- Beltrán de Heredia, M. R. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia profesional*. 30(3), 12-14.
- Broekaert, W. F., Mariën, W., Terras, F. R., De Bolle, M. F., Proost, P., Van Damme, J., Dillen, L., Claeyss, M., Rees, S. B., Vanderleyden, J., & et al. (1992). Antimicrobial peptides from *Amaranthus caudatus* seeds with sequence homology to the cysteine/glycine-rich domain of chitin-binding proteins. *Biochemistry*, 31(17), 4308-4314. <https://doi.org/10.1021/bi00132a023>
- Calderón-de la Barca, A. M., Rojas-Martínez, M. E., Islas-Rubio, A. R. & Cabrera-Chávez, F. (2010). Gluten free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. *Plant Foods Hum Nutr.*, 65, 241-246.
- Cárdenas-Hernández, A., Beta, T., Loarca-Piña, M. G. F., Castaño-Tostado, E., Nieto-Barrera, J. O., Mendoza, S. (2016). Improved functional properties of pasta: enrichment with amaranth seed flour and dried amaranth leaves. *Journal of Cereal Science*, 72, 84-90. doi: 10.1016/j.jcs.2016.09.014.
- Castañeda-Reyes, E. D., Perea-Flores, M. J., Dávila-Ortiz, G., & Gonzalez de Mejia, E. (2022). Liposomes Loaded with Amaranth Unsaponifiable Matter and Soybean Lunasin Prevented Melanoma Tumor Development Overexpressing Caspase-3 in an In Vivo Model. *Pharmaceutics*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14102214>
- Centéotl. Centro de Desarrollo Comunitario. Consulta 1 de septiembre de 2023. <https://centéotl.org.mx/web/>

- Czaplicki, S., Ogródowska, D., Zadernowski, R. & Derewiaka, D. (2012). Characteristics of biologically-active substances of amaranth oil obtained by various techniques. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 62(4), 235-239.
- Damián-Reyes, M. G. (2020). *Calidad de amaranto reventado mediante dos métodos el tradicional y el industrial*. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Das, S. (2016). *Amaranthus: A promising crop of future*. Springer. Bengala del Oeste, India
- De Vita, D., Messori, A., Toniolo, C., Frezza, C., Scipione, L., Berteà, C. M., Micera, M., Di Sarno, V., Madaia, V. N., Pindinello, I., Roscilli, P., Botto, A., Simonetti, G., Orekhova, A., Manfredini, S., Costi, R., & Di Santo, R. (2021). Towards a new application of amaranth seed oil as an agent against *Candida albicans*. *Nat Prod Res*, 35(22), 4621-4626. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1696335>
- Duran, D. (1984). *Historia de las Indias de Nueva España e Islas de la Tierra Firme*. Tomo I. Editorial Porrúa. México.
- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., Escobedo-López, D., De la Olán, M., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G., Cortés-Espinosa, L. & Hernández-Casillas, J.M. (2010). *Conservación y Uso de los Recursos Genéticos de Amaranto en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Centro. México.
- Grupo de Enlace para la Promoción del Amaranto en México. Memoria del Congreso Nacional del Amaranto 2014. Consultado 1 de septiembre de 2023a. <https://grupoamarantomexicano.wordpress.com/congreso-nacional-de-amaranto/>
- Grupo de Enlace para la Promoción del Amaranto en México. Nuestras voces: mujeres y hombres productores, transformadores y consumidores del amaranto. Consultado 1 de septiembre de 2023b. <https://grupoamarantomexicano.files.wordpress.com/2022/05/encuentro-nacional-de-productores-amaranto-2015.pdf>
- Grupo de Enlace para la Promoción del Amaranto en México. Día Nacional del Amaranto (15 de octubre). Consultado 1 de septiembre de 2023c. <https://grupoamarantomexicano.wordpress.com/2019/02/12/dia-nacional-del-amaranto/>
- Hernández-García, Y., Melgar-Lalanne, G., Téllez-Medina, D. I., Ruiz-May, E., Salgado-Cruz, M. P., Andrade-Velásquez, A., Dorantes-Álvarez, L., López-Hernández, D., & Santiago Gómez, M. P. (2022). Scavenging peptides, antioxidant activity, and hypoglycemic activity of a germinated amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) beverage fermented by *Lactiplantibacillus plantarum*. *J Food Biochem*, 46(7), e14139. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14139>
- Hernández-García, R. y Herre-rías-Guerra, G. (1998). *Amaranto: Historia y promesa*. Tehuacán: Horizonte del Tiempo. Vol. 1. Patrimonio Histórico de Tehuacán, A.C. México. <https://vdocuments.mx/amaranto-historia-y-promesa.html?page=1>
- Huang, Z. R., Lin, Y. K., & Fang, J. Y. (2009). Biological and pharmacological activities of squalene and related compounds: potential uses in cosmetic dermatology. *Molecules*, 14(1), 540-554. <https://doi.org/10.3390/molecules14010540>
- Huerta-Ocampo, J.A. & Barba-De la Rosa, A. P. (2012). Caracterización bioquímica y estructural de las proteínas de reserva del amaranto. In: E. Espitia-Rangel (Ed.). *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Mejoramiento Genético de Cereales (Amaranto, Avena y Trigo) Celaya, Guanajuato, México.
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2020). Toxicity and Antimicrobial Activities of *Amaranthus caudatus* L. (Amaranthaceae) Harvested from Formulated Soils at Different Growth Stages. *J Evid Based Integr Med*, 25, 2515690x20971578. <https://doi.org/10.1177/2515690x20971578>
- Jurado-Rentería, R. (1998). *Amaranto su importancia en la alimentación en México*. Tesis de Licenciatura. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.
- Karamac, M., Gai, F., Longato, E., Meineri, G., Janiak, M. A., Amarowicz, R., & Peiretti, P. G. (2019). Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Amaranth (*Amaranthus caudatus*) during Plant Growth. *Antioxidants* (Basel), 8(6). <https://doi.org/10.3390/antiox8060173>
- La Verdad de Tamaulipas. "Crean maquinaria procesadora de amaranto en apoyo de productores". Consultado 13 agosto 2023. <https://laverdad.com.mx/2020/07/crean-maquinaria-procesadora-de-amaranto-en-apoyo-de-productores/>
- Lee, Y., Puumala, E., Robbins, N., & Cowen, L. E. (2021). Antifungal Drug Resistance: Molecular Mechanisms in *Candida albicans* and Beyond. *Chem Rev*, 121(6), 3390-3411. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00199>
- Liu, Y., Xu, X., Bi, D., Wang, X., Zhang, X., Dai, H., Chen, S., & Zhang, W. (2009). Influence of squalene feeding on plasma leptin, testosterone & blood pressure in rats. *Indian J Med Res*, 129(2), 150-153.
- López, D. N., Galante, M., Robson, M., Boeris, V. & Spelzini, D. (2017). Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physico-chemical and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 152-159.
- Martirosyan, D. M., Miroshnichenko, L. A., Kulakova, S. N., Pogojeva, A. V., & Zolodov, V. I. (2007). Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids Health Dis*, 6, 1. <https://doi.org/10.1186/1476-511x-6-1>
- Mayer, F. L., Wilson, D., & Hube, B. (2013). *Candida albicans pathogenicity mechanisms*. *Virulence*, 4(2), 119-128. <https://doi.org/10.4161/viru.22913>
- Montoya-Rodríguez, A., Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., & 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. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 14(2), 139-158. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12125>
- Montúfar-López, A. (2012). *Amaranto (Amaranthus spp.)*, planta ritual mesoamericana. In: E. Espitia-Rangel (Ed.). *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Mejoramiento Genético de Cereales (Amaranto, Avena y Trigo) Celaya, Guanajuato, México.
- Morales G., J. (2020). Valiosas razones para consumir el amaranto. Experiencias de investigación en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. In: *Amaranto, comida cotidiana y ritual*. Fundación Herdez. Ciudad de México. pp. 47-65.
- Morán-Bañuelos, S. H., Cortés-Espinosa, L., Espitia-Rangel, E. & Sangerman-Jarquín, D. M. (2012). Tzoalli, de cuerpo de dioses a alegría de mortales. In: Espitia-Rangel, E. (Ed.). *Amaranto: Ciencia y Tecnología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Mejoramiento Genético de Cereales (Amaranto, Avena y Trigo) Celaya, Guanajuato, México.
- Moran-Bañuelos, S. H., Ramírez Romero, G., Argumedo-Macías, A., Del Villar Zamacona, M. & Noll, P. (2016). Amaranth: The rescue of an ancient seed for nutrition and social protection. *International Conference on urban & regional resilience (RESURBE III)*,

- páginas 1-6, Facultad DE Arquitectura, UNAM, Ciudad de México.
- Muñoz, F., Gaytán, J., Lugo, M., Martínez, J. & Flores E. (2005). Fabricación de una máquina para reventar granos de amaranto. *Ciencias Técnicas agropecuarias*, 14(4): 1-8.
- National Research Council. (1975). Underexploited tropical plants with promising economic value. The Minerva Group, Inc.
- NAS (1984). Amaranth--modern prospects for an ancient crop. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology for International Development, Office of International Affairs.
- Puente a la Salud Comunitaria A.C. (2015). Plan Estratégico Puente a la Salud Comunitaria A.C., 2015-2019. Consulta 1 de septiembre de 2023. <https://www.puentemexico.org/>
- Puente a la Salud Comunitaria (2018). Cocinemos con el Amaranto, "la más pequeña dadora de vida". Puente a la Salud Comunitaria. Red Amaranto Valles Centrales; Red Amaranto Mixteca. Oaxaca, México. 64p.
- Quiroga, A. V., Aphalo, P., Nardo, A. E., & Añón, M. C. (2017). In Vitro Modulation of Renin-Angiotensin System Enzymes by Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Protein-Derived Peptides: Alternative Mechanisms Different from ACE Inhibition. *J Agric Food Chem*, 65(34), 7415-7423. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02240>
- Ramírez-Torres, G., Ontiveros, N., López-Teros, V., Ibarra-Diarte, J. A., Reyes-Moreno, C., Cuevas-Rodríguez, E. O., & Cabrera-Chávez, F. (2017). Amaranth Protein Hydrolysates Efficiently Reduce Systolic Blood Pressure in Spontaneously Hypertensive Rats. *Molecules*, 22(11). <https://doi.org/10.3390/molecules22111905>
- Reyna, T. T. (1999). Algo más...sobre amaranto. In: Federico Gómez y Ricardo Almeida (Comp.). *Amaranto. Cultivo promisorio para el siglo XXI*. Universidad Autónoma Chapingo. pág. 127
- Reynaga, A. & Castelú, P. (2017). Diseño y Construcción de un prototipo expansor continuo fluidizado para granos de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Tecnológica*, 13(19).
- Rivillas-Acevedo, L. A., & Soriano-García, M. (2007). Isolation and biochemical characterization of an antifungal peptide from *Amaranthus hypochondriacus* seeds. *J Agric Food Chem*, 55(25), 10156-10161. <https://doi.org/10.1021/jf072069x>
- Rojas, R. T. (1991). La agricultura en la época prehispánica. In: T. Rojas Rabiela (Coordinadora). *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días*. Grijalbo, México.
- Rudiño, L. (2018). Puebla: Amaranto, antídoto para la pobreza y la degradación ambiental; experiencia exitosa de Alternativas y Quali. In: Mauricio del Villar y otros (Coord.) *Amaranto. Semilla ancestral, contribución a la soberanía alimentaria de México*. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 101-104.
- Sabbione, A. C., Rinaldi, G., Añón, M. C., & Scilingo, A. A. (2016). Antithrombotic Effects of *Amaranthus hypochondriacus* Proteins in Rats. *Plant Foods Hum Nutr*, 71(1), 19-27. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0517-2>
- Sánchez-López, F., Robles-Olvera, V. J., Hidalgo-Morales, M., & Tsopmo, A. (2021). Angiotensin-I converting enzyme inhibitory activity of *Amaranthus hypochondriacus* seed protein hydrolysates produced with lactic bacteria and their peptidomic profiles. *Food Chem*, 363, 130320. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130320>
- Sandoval-Sicairos, E. S., Domínguez-Rodríguez, M., Montoya-Rodríguez, A., Milán-Noris, A. K., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2020). Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity Modified by Germination and Hydrolysis in Mexican Amaranth. *Plant Foods Hum Nutr*, 75(2), 192-199. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00798-z>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Desarrolla COLPOS maquinaria procesadora de amaranto en apoyo de productores de pequeña escala. Consultado 13 agosto 2023. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/desarrolla-colpos-maquinaria-procesadora-de-amaranto-en-apoyo-de-productores-de-pequena-escala?idiom=es>.
- Singh, A., Kumari, A. & Kumar-Chauhan, A. (2022). Formulation and evaluation of novel functional snack bar with amaranth, rolled oat, and unripened banana peel powder. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 3511-3521.
- Tang, Z., Zhou, C., Cai, Y., Tang, Y., Sun, W., Yao, H., Zheng, T., Chen, H., Xiao, Y., Shan, Z., Bu, T., Wang, X., Huang, L., & Gou, L. (2020). Purification, characterization, and antioxidant activities in vitro of polysaccharides from *Amaranthus hybridus* L. *PeerJ*, 8, e9077. <https://doi.org/10.7717/peerj.9077>
- Tavitas, L., Valle, M. & Hernández, L. (2011). *Determinación de la calidad del grano reventado y contenido de aceite en cinco variedades de amaranto*. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agropecuario.
- Tovar-Pérez, E., Lugo-Radillo, A., & Aguilera-Aguirre, S. (2019) Amaranth grain as a potential source of biologically active peptides: a review of their identification, production, bioactivity, and characterization. *Food Reviews International*, 35:3, 221-245, doi:10.1080/87559129.2018.1514625
- Vázquez-Villegas, P., Pérez-Carrillo, E., Picazo-García, C. & Cruz-Camacho, M. (2021). Effect of wheat flour substitution and popped amaranth flour content on the rheological, physicochemical, and textural properties of hot-press wheat-oat-quinoa-amaranth composite flour tortillas. *Journal of food*, 19(1), 571-578.
- Zambrana, S., Lundqvist, L. C. E., Veliz, V., Catrina, S. B., Gonzales, E., & Östenson, C. G. (2018). *Amaranthus caudatus* Stimulates Insulin Secretion in Goto-Kakizaki Rats, a Model of Diabetes Mellitus Type 2. *Nutrients*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/nu10010094>