



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

TRABAJO FIN DE GRADO

Compuestos Bioactivos en Alimentos de Origen Vegetal

Autor: Paula García Mayordomo

Tutor: Dra. Esperanza Torija Isasa

Convocatoria: Junio 2016

ÍNDICE

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	3
3. Objetivos.....	6
4. Metodología.....	6
5. Resultados y discusión.....	7
5.1. Carotenoides.....	8
5.2. Compuestos fenólicos - Antocianos.....	11
5.3. Betalaínas.....	14
5.4. Utilidad de compuestos bioactivos como colorantes naturales.....	16
6. Conclusiones.....	17
7. Bibliografía.....	18

1. RESUMEN

A lo largo de los últimos años el ser humano ha desarrollado una gran sensibilidad para relacionar la alimentación que recibe y su importancia en el estado de salud. La dieta puede tener efectos beneficiosos para el organismo más allá de los propios efectos nutricionales, siendo los alimentos de origen vegetal los principales constituyentes dentro de lo que se considera actualmente una alimentación saludable. Al conocer en mayor medida los efectos beneficiosos de determinados componentes, lo que está avalado por evidencias científicas, se diseñan los denominados Alimentos Funcionales, y la Normativa Europea permite hacer alegaciones de salud en el etiquetado para orientar a los consumidores. El carácter de alimento funcional es debido a la presencia de compuestos bioactivos, denominados fitoquímicos cuando se encuentran en los vegetales, que son responsables de múltiples actividades beneficiosas en el organismo humano. Existen muy diversos tipos de fitoquímicos en los alimentos vegetales y, debido a esta amplia variedad, centraremos nuestro estudio sólo en algunos de ellos que actúan como pigmentos: carotenoides, antocianos y betalainas, concretamente en frutas y hortalizas. La principal función biológica de la mayoría de ellos es la de ser compuestos antioxidantes y, como consecuencia de esta actividad, tienen un papel relevante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cáncer. Estas características hacen que los alimentos que los contienen sean cada vez más demandados y además es posible extraer los compuestos responsables con el fin de utilizarlos como nuevos ingredientes o aditivos alimentarios.

2. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que han dejado una huella importante en la sociedad occidental y han caracterizado muchas de sus preocupaciones durante la segunda mitad del siglo XX ha sido el binomio Alimentación/Salud¹. A diferencia de los factores genéticos y ambientales, la dieta se puede modificar como una medida preventiva o como una forma de retrasar la aparición de la enfermedad. Por ello, la dieta equilibrada será aquella que, además de ser sana, nutritiva y palatable, dé lugar a una menor mortalidad total y a una mayor expectativa de vida². Existen evidencias científicas que fundamentan la hipótesis de que la dieta puede tener efectos fisiológicos y psicológicos, más allá de los propios efectos nutricionales, mediante la modulación de determinadas funciones en el organismo. Muchos de estos efectos beneficiosos para la salud los aportan alimentos de origen vegetal como frutas, hortalizas, legumbres y cereales, que son de gran importancia en la dieta mediterránea^{1,3}.

Debido al gran interés de los alimentos en relación con la salud, en los años 80 del siglo pasado, se diseñaron en Japón los denominados Alimentos Funcionales. A partir de aquí, proliferaron los trabajos de investigación encaminados a demostrar el papel de los diferentes tipos de compuestos en la prevención y mejora de algunas enfermedades. Este tipo de alimentos ha aumentado de manera notable en los mercados de todo el mundo y, en la década de los noventa, la Unión Europea planteó una Acción Concertada de la Comisión Europea (FUFOSE) que elaboró un marco global para su identificación y desarrollo (ILSI⁴). De esta forma, en Europa hay consenso en cuanto a considerar dichos alimentos como aquellos que demuestran mejorar una o más funciones beneficiosas en el organismo, además del valor nutritivo propio de los mismos; su uso se plantea en dos campos fundamentalmente: el de mejorar determinados estados de salud o el de prevenir diferentes patologías. Más adelante, una vez demostradas científicamente las propiedades y acción de distintos componentes, la Normativa Europea permite incluir alegaciones de salud en el etiquetado o promoción de dichos compuestos o en el de los alimentos que los contienen.

El carácter de alimento funcional se debe a la presencia de los denominados compuestos bioactivos, o fitoquímicos cuando se encuentran en los vegetales, que son responsables de actividades beneficiosas muy variadas; en algunos casos son antioxidantes, en otros ayudan a bajar el colesterol o forman parte del complejo que conocemos como fibra. Se trata de compuestos que intervienen en el metabolismo secundario de las plantas: reguladores del crecimiento, protectores naturales frente a parásitos, atracción de polinizadores y

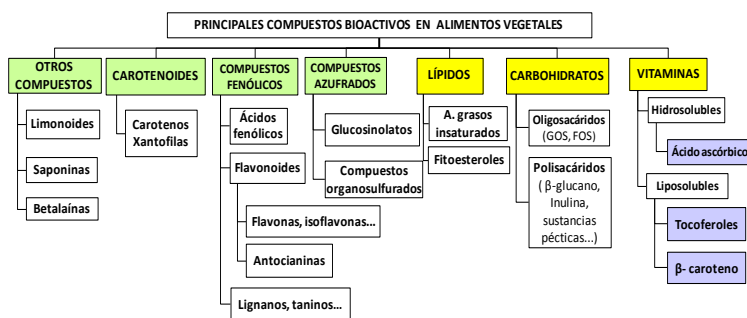


Figura 1. Principales fitoquímicos en vegetales

los principales fitoquímicos^{1,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14}, ordenados teniendo en cuenta su estructura química en relación a su importancia en los alimentos; algunos son nutrientes (color amarillo), otros únicamente fitoquímicos (color verde) y otros tienen un doble papel en el organismo: son nutrientes y a la vez bioactivos (vitaminas C y E...) (color azul). Muchos se encuentran en frutas y hortalizas y en la Tabla 1 se recogen algunos de los más habituales en la dieta española.

dispersión de semillas, etc.; además, algunos de ellos son responsables de caracteres organolépticos de los alimentos, como pigmentos, sustancias aromáticas...

En la Figura 1 se recogen,

Tabla 1. Alimentos vegetales fuente de compuestos bioactivos

Compuestos Bioactivos	Fuentes vegetales
Tocoferoles	Espinacas, guisantes, lechuga, pimientos, frutos secos...
Fitoesteroles	Leguminosas, frutos secos...
Carotenoides	Zanahorias, espinacas, acelgas, judías verdes, lechuga, pimiento, tomate, naranja, mandarina, sandía, melocotón...
Glucosinolatos	Coliflor, coles de Bruselas, repollo, lombarda...
Organosulfurados	Ajo, cebolla...
Compuestos fenólicos	Ajo, cebolla, brócoli, puerro, lombarda, berenjena, espárragos, albaricoque, naranja, mandarina, limón, pomelo, manzana, frambuesa, cereales, leguminosas...
Betalainas	Remolacha, frutos del género <i>Opuntia</i>

Los tocoferoles y tocotrienoles (precursores de la vitamina E) son abundantes en semillas oleaginosas y partes verdes de plantas; los fitoesteroles (β -sitosterol, estigmasterol...), por su parte, se encuentran, principalmente, en frutos secos y leguminosas. Los carotenoides, pigmentos liposolubles responsables de colores desde el amarillo hasta el rojo intenso (carotenos y xantofilas) están ampliamente distribuidos entre los alimentos vegetales. Los glucosinolatos son sustancias aromáticas precursoras de los isotiocianatos, que se liberan en la maceración y procesamiento de hortalizas de la familia Brassicaceae. Los organosulfurados se encuentran en alimentos de la familia de las Alliaceae y son responsables de sus caracteres organolépticos. Los compuestos fenólicos son un grupo amplio de fitoquímicos con estructuras muy variadas; ácidos fenólicos como los ácidos elágico y gálico; polifenoles como flavonoides, taninos (hidrolizables y condensados); isoflavonas (fitoestrógenos); especial interés tienen las antocianidinas que darán lugar a pigmentos muy característicos (azules, morados y rojizos) de alimentos como uvas, col lombarda... Las betalainas son pigmentos nitrogenados responsables de la coloración característica de la remolacha y de higos chumbos.

Estos componentes bioactivos de los vegetales, pueden encontrarse en cantidades muy variables, en función de una serie de factores como el genotipo, la parte del vegetal y el estado de madurez del mismo¹⁵. Además, hay factores extrínsecos que afectan a la estabilidad y mecanismos de acción de estos fitoquímicos como son las condiciones de cultivo, las operaciones de procesado y conservación, así como las interacciones con otros ingredientes alimentarios^{15,16,17}.

En cuanto a la biodisponibilidad de los fitoquímicos, algunos de ellos pueden no ser absorbidos en el intestino, ejerciendo efectos locales a nivel gastrointestinal como resultado de la interacción con la microflora del colon. Sin embargo, la mayoría de ellos se absorben a nivel intestinal, necesitando una hidrólisis previa de los precursores por parte de los sistemas

enzimáticos. Las sustancias absorbidas pasan al torrente sanguíneo y son metabolizadas dando lugar a compuestos de interés, que llevarán a cabo su función en el medio interno^{2,8}.

Entre sus actividades, cabe destacar el carácter antioxidante de muchos de ellos. El estrés oxidativo se relaciona con la existencia de un desequilibrio entre los sistemas oxidativos y antioxidantes, a favor de los primeros, producido al aumentar de forma excesiva las especies reactivas de oxígeno (ERO) o de óxido de nitrógeno. Estas especies de oxígeno reactivas, incluidos los radicales libres, son responsables del daño celular producido sobre ácidos grasos insaturados, proteínas y DNA^{16,18}; esta situación conlleva a daños oxidativos a nivel tisular que están involucrados en el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles y cáncer^{18,19,20}. Dicho estrés oxidativo se controla a través de sistemas de defensa antioxidantes, que pueden ser endógenos o exógenos; estos últimos engloban a los procedentes de los alimentos, como minerales (selenio, cobre) que entran a formar parte de los sistemas enzimáticos del organismo, o antioxidantes de vegetales como α -tocoferol, β -caroteno y otros, con una función importante en el retraso del envejecimiento celular^{16,18}. Se ha demostrado una menor incidencia de las enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cáncer con patrones alimentarios basados en el consumo de frutas y hortalizas debido al alto contenido de fitoquímicos con actividad antioxidante, o bien responsables de la disminución de colesterol endógeno^{16,17,18,21}.

3. OBJETIVOS

Dada la amplitud del tema, centramos nuestro interés sólo en algunos fitoquímicos de determinados alimentos vegetales. Por ello, el objetivo general de este trabajo es conocer la importancia para la salud de los siguientes pigmentos: carotenoides, antocianos y betalaínas presentes en frutas y hortalizas. Los objetivos específicos son: a) estudiar las propiedades beneficiosas para la salud de los citados compuestos y b) determinar su utilidad como colorantes naturales o nuevos ingredientes alimentarios.

4. METODOLOGÍA

Este trabajo ha consistido en una revisión bibliográfica de fuentes primarias, tales como artículos de revista, tesis doctorales y actas de congresos; secundarias como Pubmed, Dialnet y publicaciones del CSIC; y terciarias, como libros, bases de datos y artículos de revisión. También se han consultado recursos informáticos de organismos oficiales y proyectos de investigación, así como documentos legales, tanto de España como de la UE.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia de una gran variedad de frutas y hortalizas (Tablas 2 y 3) en la dieta humana asegura el aporte de diferentes tipos de nutrientes (vitaminas y minerales), fibra, y compuestos bioactivos, cuya presencia conjunta permite obtener importantes beneficios para la salud³. Las recomendaciones dietéticas actuales se basan en consumir al menos cinco raciones de frutas y hortalizas frescas al día; estas pautas dietéticas se corresponden con una ingesta mínima de 400 gramos de frutas y hortalizas por día, según las recomendaciones oficiales dadas por FAO/OMS²² desde 2003.

Tabla 2. Hortalizas de uso común en España

Parte del vegetal	Hortaliza y especie botánica
Raíces	Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.). Remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.). Rábano (<i>Raphanus sativus</i> var. Alba)
Bulbos	Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.). Ajo (<i>Allium sativum</i> L.)
Tallos	Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i> L.). Apio (<i>Apium graveolens</i> L.). Puerro (<i>Allium porrum</i> L.)
Hojas	Acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cycla</i> , L.), Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i> L.). Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.). Repollo (<i>Brassica rubra oleracea</i> L.)
Flores	Coliflor (<i>Brassica oleracea</i> L.). Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i> L.)
Frutos	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.). Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Pimiento (<i>Capsicum annum</i> L.). Berenjena (<i>Solanum melongena</i> L.)
Semillas	Guisante (<i>Pisum sativum</i> L.). Maíz (<i>Zea mays</i> L.)

Tabla 3. Frutas de uso común en España

Tipo de fruto	Fruto y especie botánica
Drupa	Albaricoque (<i>Prunus armeniaca</i> L.). Melocotón (<i>Prunus persica</i> L.). Ciruela (<i>Prunus domestica</i> L.). Cereza (<i>Prunus avium</i> L.)
Pomo	Manzana (<i>Malus sylvestris</i> L.). Pera (<i>Pyrus comunis</i> L.). Membrillo (<i>Cydonia oblonga</i> L.)
Baya o bayas modificadas	Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.). Fresa (<i>Fragaria vesca</i> L.). Plátano (<i>Musa ssp</i> L.)
Pepónide	Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)
Hesperido	Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L.). Limón (<i>Citrus limon</i> L.)

Los fitoquímicos tienen un importante papel en la calidad de las frutas y hortalizas, a las que proporcionan sus características sensoriales (color, textura, sabor...), sin olvidar su papel específico en el crecimiento y supervivencia del propio vegetal¹⁵. El color externo de los alimentos es uno de los primeros atributos que el consumidor valora cuando determina la apariencia y calidad de un producto, y por tanto va a condicionar su aceptabilidad. En frutas y hortalizas, el color se debe principalmente a la presencia de cuatro tipos de pigmentos: clorofilas (color verde), carotenoides (color rojo-amarillo), antocianinas (color azul-violáceo) y betalaínas (color rojo-violáceo/amarillo).

Los pigmentos naturales de origen vegetal, con funciones específicas, difieren ampliamente en su estructura química y origen, aunque todos son resultado del metabolismo secundario de las plantas. Hoy en día, se les empieza a considerar como sustancias bioactivas por los potenciales efectos beneficiosos que ejercen sobre la salud, destacando su importante actividad antioxidante. Aquellos que se estudian en este trabajo pertenecen a los siguientes grupos: carotenoides, compuestos fenólicos (flavonoides, concretamente antocianinas) y betalainas, debido a que son los más representativos en los alimentos que nos ocupan.

5.1. Carotenoides

Dentro de los terpenoides se incluyen aquellos metabolitos producidos a partir de la ruta del ácido mevalónico en las plantas. Los más relevantes desde el punto de vista de constituyentes con actividad biológica son los carotenoides, los cuales son responsables de los colores rojos, anaranjados y amarillos de los alimentos¹⁶. De todos ellos, el β -caroteno (zanahoria) y el licopeno (tomate), son quizás los más estudiados y conocidos por los consumidores y las evidencias científicas indican que son los más eficaces como antioxidantes⁴. Se trata de pigmentos liposolubles naturales que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, ya que son sintetizados por una gran variedad de plantas, algas y bacterias fotosintéticas²³.

En cuanto a su estructura química (Figura 2), los carotenoides son tetraterpenos constituidos por unidades múltiples de isopreno con un anillo ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos. Se clasifican en dos grandes grupos:

carotenos (α , β , γ -caroteno y licopeno) con estructura hidrocarbonada, y xantofilas (luteína, zeaxantina y β -criptoxantina), hidrocarburos derivados con funciones oxigenadas. La característica distintiva de los carotenoides es el extenso sistema de dobles enlaces conjugados, denominado cadena poliénica (parte de la molécula conocida como cromóforo que es responsable de la absorción de luz y aparición de coloración) y la presencia de estructuras cíclicas de cinco o seis átomos de carbono en uno o ambos extremos conocidas como anillos de β -ionona^{5,23,24}, que determinan la función provitamina A de algunos carotenoides. El β -caroteno posee dos anillos de β -ionona en cada uno de sus extremos, lo que le confiere su actividad provitamina A, a diferencia del licopeno, que se caracteriza por presentar una estructura acíclica. La estructura química determina la función y la capacidad de coloración de los distintos tipos de carotenoides. Debido a la presencia de numerosos dobles

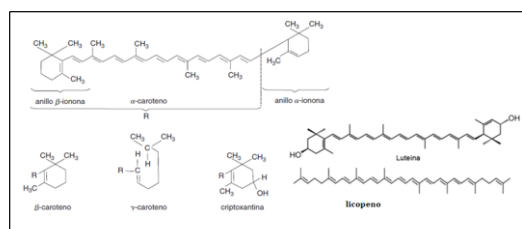


Figura 2. Estructuras químicas de diferentes carotenoides (Adaptado de Badu⁵ y Carranco et al.²³)

enlaces en su estructura, pueden existir en dos tipos de conformaciones diferentes (*cis/trans*), siendo los isómeros *trans* los más estables y, por tanto, los más abundantes en la Naturaleza. Las principales reacciones químicas responsables de la degradación de la estructura de los carotenoides y de su posterior decoloración son la oxidación, que siempre se inicia en el extremo abierto de la molécula, y la isomerización, que provoca cambios de color y reduce el valor nutritivo debido a que los de configuración *trans* cambian a isomería *cis*⁵.

Las frutas y hortalizas aportan el 95% de los carotenoides que ingerimos. En la Tabla 4, se recogen algunos datos del contenido de carotenoides en frutas y hortalizas según Hidalgo³⁵.

Tabla 4. Contenido de carotenoides en vegetales (µg/100g)

Hortaliza	α-caroteno	β-caroteno	Luteína / Zeaxantina	Fruta	α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	Luteína / Zeaxantina
Calabaza	4795	6940	---	Mango	17	445	11	---
Coles Bruselas	6	450	1590	Melocotón	9	1480	510	120
Espinacas	---	5597	11938	Melón	27	1595	---	40
Judías verdes	147	408	---	Naranja	16	51	122	187
Lechuga	---	1272	2635	Pera	6	27	---	17
Pimiento rojo	59	2379	---	Plátano	157	92	---	37
Tomate	112	393	130	Sandía	---	295	103	17
Zanahoria	4649	8836	2097	Uva	5	603	12	13

Los principales factores que influyen en la presencia de carotenoides son la especie, el genotipo, el manejo pre y post cosecha, las condiciones climáticas, el estado de madurez, así como las operaciones de procesado y conservación. Cabe destacar que la temperatura y la intensidad de la luz tienen una gran influencia en su contenido en los vegetales^{9,23}.

En nuestra dieta habitual, están presentes entre 40 y 50 carotenoides disponibles para ser absorbidos, metabolizados o utilizados por el organismo humano²⁵. Las diferencias en localización y forma de los carotenoides en los vegetales afectan a la absorción, y explican la mayor absorción de β-caroteno a partir de los frutos anaranjados, donde se encuentra en forma de gotas de aceite, que a partir de las hortalizas de hoja verde, donde se encuentra formando parte del complejo sistema fotosintético¹⁶. La liposolubilidad de los carotenoides es una característica que influye en el proceso de absorción en el organismo.

La biodisponibilidad de estos compuestos, provitamínicos o no, depende de una serie de factores, como el tipo de carotenoide, la matriz en la que se encuentran, el procesado del alimento y la interacción con otros carotenoides^{7,9}. Las operaciones de trituración y homogeneizado de frutas y hortalizas mejoran la biodisponibilidad de los carotenoides al disociar los complejos proteicos y promover la rotura de paredes celulares⁷. Al ser

compuestos bioactivos liposolubles, el tratamiento culinario (troceado y adición de pequeñas cantidades de aceite) aumenta considerablemente la cantidad absorbible². Por ejemplo, la biodisponibilidad del licopeno, del tomate, depende del procesado del producto, de forma que la asociación con ácidos grasos así como el tratamiento térmico aumentan su biodisponibilidad²⁶. El proceso de absorción incluye una etapa de liberación desde la matriz alimentaria y su incorporación a glóbulos lipídicos en el estómago, con la consiguiente formación de micelas, las cuales permiten la difusión y absorción por parte de las células intestinales, siendo las xantofilas mejor absorbidas que los carotenos por su mayor polaridad¹⁰. Parte de los carotenoides provitamínicos pueden ser convertidos en vitamina A en la mucosa intestinal, y tanto éstos como los no provitamínicos son incorporados a los quilomicrones y secretados a la linfa para su transporte al hígado²³. El plasma mantiene siempre una reserva de carotenoides circulando unidos a lipoproteínas⁷, por lo que podrían servir como biomarcadores para determinar la ingesta de hortalizas y frutas, estableciendo una relación entre dieta y salud²³. Los carotenoides, al ser compuestos liposolubles, se acumulan principalmente en tejido adiposo e hígado; también, se depositan de forma específica en tejidos como la próstata (licopeno) y la mácula lútea (luteína y zeaxantina). Finalmente, son eliminados a través de la bilis considerándose la principal vía de excreción tanto en condiciones normales como patológicas^{7,27}.

Según la literatura científica^{5,7,9,10,17,18,23,24,27,28}, las funciones y actividades biológicas derivadas de los carotenoides, tanto nutricionales como fisiológicas, están determinadas por las propiedades físico-químicas de las moléculas y por las interacciones específicas con otras sustancias. La principal función fisiológica de algunos carotenoides es la de ser provitamina A, precursor con capacidad para convertirse en retinol (vitamina A) en la mucosa intestinal de los animales superiores. Esta función es dependiente de la presencia en el carotenoide del anillo de β -ionona, como se explicó anteriormente, en la estructura química. Atendiendo a este aspecto, se diferencian aquellos carotenoides con acción provitamínica como son los carotenos (α , β y γ -caroteno) y algunas xantofilas (β -criptoxantina). Actualmente no existe recomendación de ingesta diaria de carotenoides, aunque sí se ha propuesto como referencia de 6 mg/día, basado en el aporte de los carotenoides con actividad de provitamina A²⁹.

Los carotenoides (como licopeno, β -caroteno, luteína y zeaxantina) son importantes en la prevención de patologías crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades degenerativas (cataratas y degeneración macular asociada a la edad)^{10,23,27}. Esta asociación inversa frente al riesgo de padecer dichas enfermedades o acción preventiva

de los carotenoides se basa en su actividad como antioxidantes, moduladores de la respuesta inmune, modificadores de procesos inflamatorios y de transducción de señales intercelulares^{10,23}. Algunos carotenoides poseen una importante acción antioxidante, junto con el ácido ascórbico, los tocoferoles y otros compuestos fitoquímicos¹⁹. El consumo de frutas y hortalizas, ricas en carotenoides, implica un aumento de resistencia frente a los procesos oxidativos al inhibir la peroxidación lipídica, proteger de la oxidación al ADN y aumentar la actividad reparadora. Se ha comprobado que el enriquecimiento de lipoproteínas de baja densidad con β -caroteno y licopeno mejora la defensa frente a moléculas reactivas²³. Otras acciones biológicas que desempeñan los carotenoides son la potenciación de la respuesta inmunitaria (elevadas dosis de β -caroteno aumentan los linfocitos CD4 y CD8), además de una acción antitumoral al controlar la diferenciación y proliferación celular mediante la regulación de la expresión de genes encargados de la comunicación intercelular. Además, la disminución de la oxidación de las LDL reduce el riesgo de desarrollar aterosclerosis, por lo que previene la aparición de enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento²⁴.

En cuanto al β -caroteno se ha confirmado que, en asociación con otros ingredientes alimentarios, posee un efecto beneficioso para la salud, como por ejemplo prevención del riesgo de cáncer de piel al actuar como agente fotoprotector de las radiaciones lumínicas perjudiciales^{5,9,24}. Diversos estudios epidemiológicos apoyan las asociaciones preventivas de la luteína/zeaxantina con el riesgo de padecer cataratas y degeneración macular ya que se acumulan en la retina, actuando como filtro de la luz UV. Se ha relacionado también el consumo de licopeno con la prevención de patologías cancerosas como el cáncer de próstata así como otros tipos de tumores (pulmón y tracto digestivo).

5.2. Compuestos fenólicos – Antocianos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas implicados en mecanismos de defensa frente a las agresiones de patógenos o de la luz ultravioleta. Se trata de compuestos presentes en alimentos, especialmente los flavonoides y los antocianos, responsables de colores azules, rojos y morados (uvas, col lombarda, pimiento morado, berenjena, pequeños frutos...). Según su estructura química, los compuestos fenólicos se clasifican en dos grandes grupos: fenoles simples y polifenoles (Figura 3). Dentro de los fenoles simples, los más importantes son los ácidos fenólicos (benzoicos, fenilacéticos y cinámicos). En cuanto a los

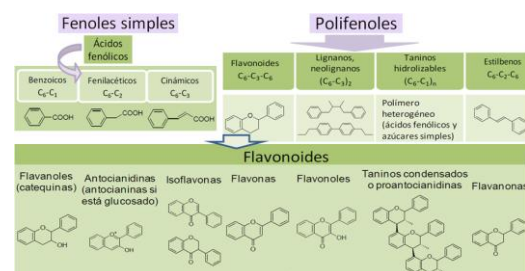


Figura 3. Clasificación de compuestos fenólicos (Adaptado de Gómez¹³)

polifenoles existe una gran diversidad de compuestos entre los que destacan los flavonoides, caracterizados por una estructura de benzo- γ -pirano, los cuales están ampliamente distribuidos en el reino vegetal, en forma de glucósidos³⁰. Poseen una elevada reactividad que se expresa en su afinidad por unirse a proteínas, hormonas, ácidos nucleicos y a iones divalentes de metales, así como la capacidad para catalizar el transporte de electrones y captar radicales libres. Estas propiedades pueden dar lugar a efectos fisiológicos que se han puesto de manifiesto “in vitro” e in vivo: inhibición enzimática, actividad antioxidante, efectos antiinflamatorios, etc. Todos estos posibles efectos han hecho aumentar su interés como componentes de los alimentos y justifica su inclusión dentro del término de fitoquímicos³¹. Dentro de los flavonoides se distinguen hasta 13 clases diferentes^{13,32}, siendo las antocianinas el objetivo de este estudio.

Las antocianinas representan el grupo más importante de pigmentos hidrosolubles responsables de la gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul en diferentes órganos de las plantas. Su estructura química básica (Figura 4) está formada por un núcleo de flavón, el cual consta de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos^{33, 34}. El nivel de hidroxilación y metilación en el anillo “B” de la molécula determina el tipo de

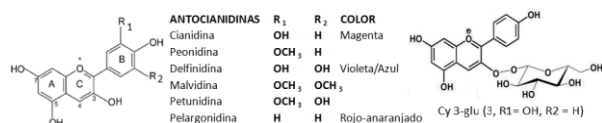


Figura 4. Estructura química de las antocianinas.
(Adaptado de Rivas et al.³³)

antocianidina, que es la aglicona de la antocianina. En las plantas las antocianinas se acumulan en su forma glucosilada; es decir, unidas a un azúcar, en cuyo caso pasan

a denominarse como antocianinas. Las características químicas de la molécula están influidas por factores como el pH del medio y esto condiciona la estabilidad y su diferente grado de coloración. De forma general, se puede decir que a pH bajos los antocianos se encuentran en forma de catión flavilio (forma más estable y por tanto mayoritaria) dando lugar a una coloración roja. A medida que aumenta el pH, se produce la desprotonización de los grupos hidroxilo de la molécula originándose un cambio hacia tonalidades azules en el espectro de absorción³⁵.

Dentro de los seis antocianos más frecuentemente encontrados en los alimentos, la cianidina es el que se encuentra en mayor cantidad (50%), seguido de pelargonidina (12%), delfinidina (12%), peonidina (12%), petunidina (7%) y malvidina (7%), siendo las tres primeras más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores³⁵.

En la dieta humana, los antocianos están presentes en hortalizas, frutas, cereales o sus derivados como el vino tinto; a estos alimentos les proporcionan colores azules, violetas o rojizos. En la Figura 5 se han recogido valores de antocianos en diversas frutas y hortalizas,

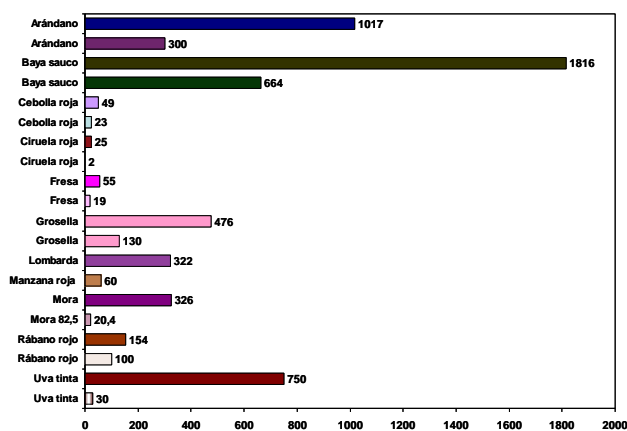


Figura 5. Contenido de antocianos en vegetales

citados por Hidalgo³⁵. Podemos ver que, para cada uno de estos vegetales, se establecen rangos de valores mínimos y máximos. Esta representación se utiliza para estudiar la variabilidad de contenido en un mismo alimento, lo que se debe a las más variadas circunstancias de la propia Naturaleza.

La absorción de los antocianos, principalmente en su forma intacta en forma de glucósidos, tiene lugar a través del estómago y del intestino, por procesos que implican a las bilitranslocasas y/o mecanismos de transporte saturables. El transporte a través del enterocito está limitado en los antocianos por ser moléculas altamente hidrosolubles. Por lo tanto, es probable que los glucósidos requieran de un transporte activo. Dicha absorción está influida por el tipo de aglucón y por el residuo de azúcar. Durante este proceso de absorción, los polifenoles sufren reacciones de conjugación en las células intestinales y luego en las hepáticas y renales (metilación, sulfatación y glucuronización). Parte de estos compuestos pueden volver al intestino delgado vía enterohepática o ser eliminados por la orina. Sin embargo, antes de ser eliminados, los antocianos y sus metabolitos se unen a la albúmina y son capaces de incorporarse a tejidos como estómago, intestino, hígado, riñones, pulmón, cerebro y tejido ocular³⁵.

Los principales efectos beneficiosos sobre la salud humana de los antocianos son atribuidos en su mayoría a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias y más recientemente a su papel regulador en vías de señalización celular y de expresión génica. Los antocianos, y en general los compuestos fenólicos, son considerados potentes antioxidantes in vitro, incluso demostrando mayor capacidad antioxidante que las vitamina C y E³⁵. Esta actividad antioxidante está relacionada con su estructura química, ya que aumenta a mayor número de grupos hidroxilo y menor número de metoxilos, siendo la delfinidina la que mejor se ajusta a este patrón. Hay que añadir que la glucosilación y la acilación disminuyen la actividad antioxidante en general, aludiendo de nuevo a las características químicas de la molécula. Es interesante evaluar la actividad antioxidante producida como consecuencia de la

interacción con otros fenoles, como es el caso de la disminución de la oxidación de las LDL mediante la interacción de cianidina, quercetina y otros flavonoides^{35,36}.

El interés por los pigmentos antociánicos se ha incrementado en los últimos años, debido a su papel en la reducción de las enfermedades coronarias, cáncer y diabetes; así como por sus efectos antiinflamatorios, mejora de la agudeza visual y comportamiento cognitivo. Diversos estudios epidemiológicos han asociado el consumo de alimentos ricos en antocianos con un menor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Además, los metabolitos procedentes de los antocianos podrían contribuir a la prevención del desarrollo de la placa ateromatosa mediante la inhibición de la secreción de moléculas inflamatorias tales como citoquinas, moléculas de adhesión y quimioquinas. Otros estudios como aquellos detallados por Astrid³⁷ demostraron que el suministro de patatas moradas dulces y repollo morado a ratas de laboratorio, fueron responsables de la supresión de tumores y numerosos bioensayos demuestran que los arándanos inhiben las etapas de iniciación, promoción y progresión de la carcinogénesis. La mejora de la agudeza visual y el comportamiento cognitivo han sido reportados por diferentes autores^{34,37,38} demostrando que las funciones neuronales de ratas de laboratorio pueden ser mejoradas a través de la suplementación nutricional con extractos de arándanos y fresas. Por último, los antocianos pueden modular la composición de la microbiota intestinal, ya que tras su consumo se ha apreciado un aumento de bacterias beneficiosas para la salud como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*.

5.3. Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos de naturaleza hidrosoluble que se almacenan en las vacuolas de células epidérmicas de raíces, frutos y flores²⁴. Su apariencia visual se asemeja a los antocianos, pero hasta este momento no se han detectado antocianinas y betalaínas juntas en una misma planta²⁴. Estos pigmentos se encuentran sólo en determinadas familias vegetales pertenecientes al orden Caryophyllales, como Amaranthaceae, Cactaceae y Chenopodiaceae, aunque las pocas fuentes conocidas comestibles de betalaínas son la remolacha roja y amarilla (*Beta vulgaris*), el amaranto (*Amaranthus sp.*) y los frutos de cactus del género de la *Opuntia* e *Hylocereus*^{24,39,40,41}. La presencia de pigmentos como las betalaínas en flores y frutos juega un papel importante en la atracción a posibles polinizadores y dispersores de semillas, ya que el color actúa en el mundo vegetal como una señal de comunicación entre especies, además de garantizar el éxito de la reproducción.

Las betalaínas se dividen en dos grupos (Figura 6), las betacianinas, de color rojo- violáceo (b) y betaxantinas (c) anaranjadas–amarillentas⁴⁰. El color se le atribuye al ácido betalámico (a) parte de la molécula con una cadena de dobles enlaces conjugados responsables de la absorción de los fotones, en donde

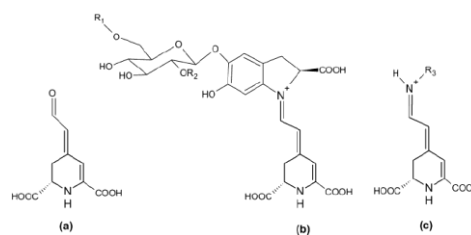


Figura 6. Estructura química de las Betalaínas (García³⁹)

el máximo de absorción de luz a 480 nm es para las amarillas y si se desplaza a 540 nm es característico de las betacianinas rojas⁴². La forma general de las betalaínas representa la condensación de una amina primaria o secundaria con ácido betalámico, cromóforo común a todos los pigmentos betalámicos³⁹. Las betacianinas son glucósidos que se sintetizan por condensación del ácido betalámico con derivados del ciclo-dihidroxifenilalanina (cicloDOPA, derivado de la tirosina)²⁸. Un ejemplo es la betanina, glucósido de la betanidina, presente en la remolacha roja. Las betaxantinas se sintetizan a partir de diferentes compuestos aminos y el ácido betalámico, pero sin azúcares^{24,40,43}.

La raíz de remolacha roja (*Beta vulgaris*) contiene una concentración de pigmentos entre 100 y 300 mg/100 g de peso fresco, principalmente betacianinas (betanina en un 75-95% y betanidina) y betaxantinas (vulgaxantina I y II). La mejora genética pretende aumentar el contenido de pigmentos (betacianinas y betaxantinas)³⁹. Por otro lado, *Opuntia* es un género de Cactáceas cuyos frutos comestibles (tunas o higos chumbos) poseen interesantes propiedades nutricionales, siendo destinados a la producción de zumos, mermeladas y frutas deshidratadas³⁹.

La estabilidad de las betalaínas depende de pH, luz, oxígeno y sobre todo de la temperatura, que acelera su degradación originando ácido betalámico (inoloro) y otros compuestos. En cuanto al pH, se muestran estables en un amplio rango de valores (3 - 7) y se degradan en presencia de la luz^{28,39,44,45}. Es necesario utilizar tecnologías tradicionales y/o alternativas para su conservación (bajas temperaturas y atmósferas controladas) que ayuden a mantener su apariencia y a disminuir el crecimiento microbiano, logrando una menor pérdida de calidad en los productos mínimamente procesados⁴¹. Según Repo y Encina⁴⁶, el estado de madurez influye de forma directamente proporcional al contenido de compuestos bioactivos, los que a su vez generan una mayor capacidad antioxidante en el fruto cuanto mayor sea su grado de madurez. Figueroa et al.⁴⁷ estudian así mismo frutos de *Opuntia*.

La estructura de amina cuaternaria dispuesta en un sistema resonante de dobles enlaces proporciona actividad reductora a las betalaínas (principalmente las betacianinas de los

géneros *Beta* y *Opuntia*), consideradas por ello fitoquímicos naturales con potente actividad antioxidante^{24,43,45}. El potencial antioxidante está relacionado con sus características estructurales. En betaxantinas, un aumento de grupos hidroxilo e imino han demostrado mejorar la neutralización de radicales libres. En betacianinas, la glucosilación reduce la actividad mientras que la acilación incrementa el potencial antioxidante⁴⁸. La incorporación de betaninas a las lipoproteínas de baja densidad (LDL) así como a los glóbulos rojos permite la protección frente al daño oxidativo y a la hemólisis. En experimentos in vitro, la betanina inhibe la peroxidación lipídica y el desarrollo de tumores en piel, pulmón e hígado²⁴.

5.4. Utilidad de compuestos bioactivos como colorantes naturales

Una vez vistas las propiedades beneficiosas para la salud de los diferentes pigmentos estudiados en frutas y hortalizas, centramos ahora nuestro interés en su posible utilidad como colorantes naturales o ingredientes alimentarios. A este respecto, en la actualidad, existe una demanda considerable de colorantes naturales alternativos a los de origen sintético, debido a posibles problemas de salud derivados del uso de estos últimos.

Cada vez, se realizan más estudios encaminados a obtener compuestos contenidos en los propios alimentos vegetales o en los residuos procedentes de los mismos, con la finalidad de producir lo que pueden ser colorantes naturales. Un requisito que debe cumplir todo pigmento para convertirse en colorante es ser estable, por un lado, frente a los procesos industriales de elaboración de los alimentos; y por otro, frente a las condiciones de pH y la interacción con otros constituyentes⁴⁴.

Giménez et al.²⁴ estudian colorantes rojos naturales de distintos tipos: carotenoides, antocianos y betacianinas. Restrepo⁴⁹, por su parte, hace un estudio del β -caroteno como colorante natural en sustitución de colorantes sintéticos en alimentos.

En relación con los antocianos, actualmente muchos trabajos de investigación se dirigen a los residuos obtenidos del maíz morado como comentan Salinas et al.⁵⁰. No obstante, Astrid³⁷ dice que a pesar de las ventajas que las antocianinas ofrecen como posibles sustitutos de los colorantes artificiales, su incorporación a matrices alimentarias es limitada debido a su baja estabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento³⁷.

Castillo y Ramírez⁵¹ en su estudio sobre la obtención de colorantes naturales a partir de especies vegetales comestibles, trabajan con mora, fresa y uva.

Las betalainas son pigmentos menos conocidos, tal vez por ser más escasas en los vegetales y su uso como colorante está de momento menos extendido, pero constituyen una opción dado su carácter hidrosoluble, su gama de colores y su estabilidad^{24,44}. Investigaciones

recientes²⁴ confirman que los frutos de *Opuntia* e *Hylocereus*, junto con la raíz de remolacha, pueden emplearse como fuente comercial de betalaínas, que en la Reglamentación Europea tienen la designación como aditivo colorante y se pueden utilizar para la elaboración de gelatinas, confituras, yogur de fresa, helados, caramelos y galletas.

El Reglamento (UE) N°1129/2011⁵² establece la lista de aditivos alimentarios cuyo uso se permite en la Unión Europea. Entre los colorantes, se pueden ver algunos que corresponden a compuestos obtenidos de alimentos vegetales, entre los que queremos destacar algunos de los que son motivo de este trabajo. Así, citamos los siguientes: E-160_a carotenos; E-160_d licopeno; E-161_b luteína; E-162 rojo de remolacha, betanina; E-163 antocianinas, entre otros.

Además del interés de los pigmentos estudiados como colorantes naturales, van apareciendo Decisiones Comunitarias referentes a la autorización de nuevos Alimentos e Ingredientes Alimentarios. A modo de ejemplo, citamos los siguientes: Decisión 2009/348/CE de la Comisión⁵³, de 23 de abril de 2009 por la que se autoriza la comercialización de licopeno como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) no 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo. Decisión 2009/355/CE⁵⁴ de la Comisión, de 28 de abril de 2009 por la que se autoriza la comercialización de licopeno de oleoresina de tomate como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) no 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo. Decisión de Ejecución de la Comisión 2013/49/UE⁵⁵, de 22 de enero de 2013, por la que se autoriza la puesta en el mercado de la zeaxantina sintética como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) n° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo. Todos ellos, para ser utilizados principalmente como colorantes. Por su parte AESAN⁵⁶ (actualmente AECOSAN), elaboró, en el año 2012, un Informe sobre condiciones de uso de determinadas sustancias distintas de vitaminas, minerales y plantas para ser empleadas en complementos alimenticios. Entre ellas, licopeno y todo *trans* luteína/zeaxantina.

6. CONCLUSIONES

- Las frutas y las hortalizas son alimentos vegetales necesarios para mantener un buen estado de salud, lo que se debe, entre otros factores, al gran número de fitoquímicos que contienen. Entre ellos, se encuentran pigmentos como carotenoides, compuestos fenólicos y betalaínas.

- Los beneficios que reportan a la salud dichos compuestos están avalados por numerosos estudios científicos que permiten aconsejar a los consumidores sobre la importancia de incluir frutas y hortalizas en la dieta.
- Estos compuestos fitoquímicos se caracterizan especialmente por su función antioxidante, y han demostrado un papel preventivo frente al desarrollo de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cáncer.
- Los pigmentos analizados pueden ser útiles además como colorantes naturales y/o nuevos ingredientes alimentarios.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Bello J. Alimentos para la salud. Arbor CLXVIII. 2001; 661. Pág.1–29. Disponible en: <http://arbor.revistas.csic.es>
- 2 Carbajal Azcona A. Manual de Nutrición y Dietética. Departamento de Nutrición Facultad de Farmacia Universidad Complutense de Madrid. 2013. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/22755/1/Manual-nutricion-dietetica-CARBAJAL.pdf>
- 3 Morales P. Importancia de la presencia de compuestos bioactivos en los vegetales. Tesis doctoral. (Dpto. Nutrición y Bromatología II. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid (UCM). 2015.
- 4 Torija Isasa E. Los alimentos de la huerta y sus características funcionales. XIII Jornadas del Grupo de Horticultura y I Jornadas del Grupo de Alimentación y Salud. Logroño. 2014.
- 5 Guerrero Legarreta I., López Hernández E., Armenta López R.E. Pigmentos. En Baduí Dergal S. Química de los alimentos. Ed. Alambra Mexicana. México. 1996; Págs. 401- 444.
- 6 Palencia Mendoza Y. Sustancias Bioactivas en Alimentos [en línea], Universidad de Zaragoza, España; 1999. Disponible en: www.unizar.es/med_naturista/bioactivos%20en%20alimentos.pdf
- 7 Olmedilla Alonso, B., Granado Lorenzo, F. Carotenoides y salud humana. Ed.: Fundación española de la nutrición. Madrid; 2001. Disponible en: <http://www.fen.org.es/imgPublicaciones/1522007542.pdf>
- 8 Santos-Buelga C., Tomás-Barberán F.A. Sustancias fitoquímicas de frutas y hortalizas, su posible papel beneficioso para la salud. DIGITAL.CSIC. CEBAS Artículos; 2001.
- 9 Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., Heredia, F.J. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN), Caracas. 2004; Vol. 54, N° 2, p. 149-155.
- 10 Mínguez Mosquera M. I., Pérez Gálvez A., Hornero Méndez D. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales, mucho más que simples “colorantes” naturales. Instituto de la grasa (CSIC). Sevilla. 2005. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG_AGROCSIC_4.pdf
- 11 Drago Serrano M.E., López M., Sainz Espuñes T. d R. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 2006; Vol. 37, N° 4, p.58-68.
- 12 Moreno D. A.; García-Viguera C.; Gil J. I.; Gil-Izquierdo A. Betalains in the era of global agri-food science, technology and nutritional health. Phytochem Rev. 2008; 7:261–280.
- 13 Gómez Romero M. Desarrollo y evaluación de estrategias y analíticas para la caracterización de compuestos Bioactivos en alimentos funcionales. Tesis Doctoral. Ed.: Universidad de Granada. 2010.
- 14 Tomás-Barberán, F.A. Alimentos Funcionales. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. CEBAS (CSIC). Murcia; 2010. Disponible en: http://benasque.org/2010fronterastalim/talks_contr/085Tomas_Barberan.pdf
- 15 Gil M.I., Allende A., Martínez-Sánchez A. Factores que afectan al contenido de compuestos bioactivos en alimentos de IV gama. V congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones; 2007. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/69/425/69425.pdf>

- 16 Espín J.C., Tomás-Barberán F.A. Alimentos Funcionales .Constituyentes bioactivos no-nutricionales de alimentos de origen vegetal y su aplicación en alimentos funcionales. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Madrid. 2005; Págs.: 101-153.
- 17 Barragán Valbuena P. A. Potencial saludable de sustancias bioactivas de algunas verduras. Trabajo de grado. Bogotá D.C; 2011.
- 18 Araya L. H., Clavijo R.C., Herrera C. Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivadas en Chile. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2006; Vol. 56, N° 4.
- 19 Elejalde Guerra J.I. Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. Análisis de Medicina Interna (Madrid). 2001; Vol. 18, N° 6, pp. 326-335.
- 20 Barbosa K.B.F., Bressan J., Zulet M.A., Martínez J.A. Influencia de la dieta sobre marcadores plasmáticos de estrés oxidativo en humanos. An. Sist. Sanit. Navar. 2008; 31 (3): 259-280
- 21 Silveira Rodríguez M.B., Monereo Megías S., Molina Baena, B. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos? .Rev Esp Salud Pública. 2003; Vol. 77, N. ° 3
- 22 FAO/OMS. Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Génève. 2003.
- 23 Carranco Jáuregui, Mª E., Calvo Carrillo, Mª C.; Pérez-Gil Romo F. Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. Archivos latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 2011; Vol. 61 N° 3.
- 24 Giménez P.J., Angosto J.M., Fernández López J.A. Bioactividad de colorantes rojos naturales. Jornadas de introducción a la investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena. 2013; N° 6. Pág. 91-93.
- 25 Olmedilla Alonso B., Granado Lorenzo F. Componentes bioactivos. En Barberá Mateos J.M. y Marcos A. Alimentos funcionales. Aproximación a una nueva alimentación. Monografía. Ed.: Dirección General de Salud Pública y Alimentación. Comunidad de Madrid. 2007; Pags.172-193.
- 26 Perdomo F., Cabrera Franquiz, Cabrera J., Serra- Majem L. Influencia del procedimiento culinario sobre la biodisponibilidad del licopeno en el tomate. Nutrición Hospitalaria. 2012; 27(5):1542-1546.
- 27 Bojórquez R.Mª; Javier González Gallego, J., Sánchez Collado, P. Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. Nutrición Hospitalaria. 2013; 28 (1):6-15.
- 28 Delgado - Vargas F., Jiménez A. R., Paredes - López O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains-Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2000; 40 (3): 173–289.
- 29 Beltrán B., Estévez R., Cuadrado C., Jiménez S., Olmedilla Alonso B. Base de datos de carotenoides para valoración de la ingesta dietética de carotenos, xantofilas y vitamina A; utilización en un estudio comparativo del estado nutricional en vitamina A de adultos jóvenes. Nutrición Hospitalaria. 2012; 27 (4): 1334-1343.
- 30 Cartaya O., Reynaldo I. Flavonoides: características químicas y aplicaciones. Cultivos Tropicales. 2001; Vol. 22. N° 2, pp. 5-14.
- 31 Rivas Gonzalo J.C., García Alonso M. Flavonoides en alimentos vegetales: estructura y actividad antioxidante. NUTRICION Y SALUD ALIM. NUTRI. SALUD. 2002; Vol. 9, N. ° 2, pág. 31-38.
- 32 Arranz Martínez S. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: metodología para su determinación e identificación. Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 2010.
- 33 Rivas J., Santos C., Lock O., Caballero I. 2003. Química y estabilidad de antocianos y betalaínas. Publicación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. (CYTED) y CONICYT. Santiago de Chile. 2003.
- 34 Aguilera Ortiz M., Reza Vargas Mª del C., Chew Madinaveitia R.G., Meza Velázquez J.A. Propiedades funcionales de las antocianinas. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 2011 Vol. XIII, N° 2. México.
- 35 Hidalgo Jerez M. Antocianos: metabolismo y actividad biológica. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria Universidad Complutense de Madrid. 2013.
- 36 Martínez-Flórez, J. González-Gallego, J. M. Culebras, Tuñón Mª J. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutr. Hosp. XVII. 2002; (6) 271-278.
- 37 Astrid Garzón G. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. Acta Biol. Colomb. 2008; Vol. 13 N° 3, 27 – 36.

- 38 Gimeno Creus E. Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. O F F A R M. 2004; Vol. 23. Nº 6.
- 39 García Gutiérrez V. R. Evolución de compuestos funcionales durante la maduración de frutos de *Opuntia stricta*. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Cartagena. 2008.
- 40 García-Cruz L., Salinas-Moreno Y., Valle-Guadarrama S. Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus H.*). Rev. Fitotec. Mex. [Revista en Internet]. 2012; 35(spe.5): 01-05. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000500003&lng=es
- 41 Alba-Jiménez J. E., Chávez-Servia J. L., Verdalet-Guzmán I., Martínez A. J., Aquino-Bolaños E.N. Betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. Gayana BOT. 2014; 71(2): 222-226.
- 42 Marañón-Ruiz V. F., Rizo de la Torre L. del C. Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. Superficies y Vacío. 2011; 24 (4). Págs. 113-120.
- 43 García Carmona F., Gandía Herrero F., Escribano J. Flores fluorescentes. Investigación y Ciencia. 2011.
- 44 Fernández López J.A., Giménez P.J. Betalainas colorantes naturales bioactivos. Revista Investigación y ciencia. 2013. Disponible en: <https://issuu.com/argos/docs/betalainas-colorantes-naturales-b>
- 45 Vergara Hinostroza C del C. Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario. Tesis doctoral. Santiago de Chile. 2013.
- 46 Repo de Carrasco R., Encina Zelada C. R. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev Soc Quím Perú. 2008; 74, Nº 2 (108-124)
- 47 Figueroa-Cares I., Martínez-Damian M.T., Rodríguez Pérez E, Colinas-León M.T., Valle- Guadarrama, Ramírez Ramírez S., Gallego Vázquez C. Contenido en pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia Spp.*) de México. 2010.
- 48 Stintzing F. C., Carle R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. Trends in Food Science & Technology. 2004; 15: 19–38
- 49 Restrepo Gallego M. Sustitución de colorantes en alimentos. REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN. 2007; Vol. 4. Nº1.
- 50 Salinas-Moreno Y., García Salinas C., Coutiño Estrada B., Vidal Martínez V.A. VARIABILIDAD EN CONTENIDO Y TIPOS DE ANTOCIANINAS EN GRANOS DE COLOR AZUL/MORADO DE POBLACIONES MEXICANAS DE MAÍZ. Rev. Fitotec. México. 2013; Vol. 36 Supl. 3-A: 285 – 294.
- 51 Castillo Membreño, S. A., Ramírez González, I.E. Ensayo preliminar para la obtención de colorantes naturales a partir de especies vegetales comestibles. Memoria Fin de Grado en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 2006.
- 52 REGLAMENTO (UE) Nº 1129/2011 DE LA COMISIÓN de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión.
- 53 DECISIÓN 2009/365/CE, de 28 de abril de 2009 (DOUE L 111, de 05.05.2009), por la que se autoriza la comercialización de licopeno de *Blakeslea trispora* como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) nº 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- 54 DECISIÓN 2009/355/CE, de 28 de abril de 2009 (DOUE L 109, de 30.04.2009), por la que se autoriza la comercialización de oleoresina de licopeno de tomates como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) nº 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- 55 DECISIÓN 2013/49/UE de Ejecución de la Comisión, de 22 de enero de 2013 (DOUE L 021, de 24.01.2013), por la que se autoriza la puesta en el mercado de la zeaxantina sintética como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) nº 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- 56 AECOSAN. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre condiciones de uso de determinadas sustancias distintas de vitaminas, minerales y plantas para ser empleadas en complementos alimenticios –I. Revista del Científico. 2012; Nº 17.