



Alimentos funcionales: fitoquímicos

Apellidos, Nombre	Virginia Larrea (virlarsa@tal.upv.es), Pere Morell (pemoes@upv.edu.es), Amparo Quiles (mquichu@tal.upv.es), Isabel Hernando (mihernan@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En las últimas décadas, el interés por una alimentación saludable ha crecido notablemente, impulsado por una mayor conciencia sobre la relación entre dieta y salud. En este contexto, los alimentos funcionales han cobrado especial relevancia. Estos alimentos, además de proporcionar nutrientes esenciales, contienen componentes biológicamente activos que ofrecen beneficios adicionales para la salud. Históricamente, diversas culturas han utilizado plantas medicinales y alimentos naturales para promover la salud, pero fue en el siglo XX cuando se comenzó a reconocer científicamente los beneficios de ciertos alimentos, iniciando así investigaciones al respecto. Los avances recientes han llevado al crecimiento de la industria de alimentos funcionales y a una mayor comprensión de los mecanismos de acción de sus compuestos bioactivos. Entre estos compuestos destacan los fitoquímicos, sustancias naturales presentes en plantas que, aunque no son nutrientes esenciales, han demostrado tener efectos positivos sobre la salud. En este artículo revisaremos cuáles son los principales compuestos fitoquímicos, cuál es su función, en qué alimentos se encuentran, cuál es su estructura química y sus efectos positivos sobre la salud.

2 Objetivos

Al finalizar la lectura de este documento seremos capaces de:

- Saber clasificar los principales compuestos fitoquímicos.
- Reconocer las estructuras químicas básicas más representativas de cada grupo.
- Conocer algunos alimentos vegetales ricos en fitoquímicos.
- Conocer los efectos sobre la salud de cada uno de estos grupos de compuestos.

3 Introducción

Cada vez más, la sociedad es consciente de que una alimentación saludable puede mejorar la salud. En este sentido, los alimentos funcionales han cobrado una especial relevancia llamando la atención de los consumidores. Un alimento funcional no solo proporciona nutrientes esenciales, sino que también contiene componentes biológicamente activos que pueden ofrecer beneficios adicionales para la salud.

Entre estos componentes destacan los fitoquímicos, sustancias naturales presentes en plantas que, aunque no son nutrientes esenciales, han demostrado tener efectos positivos sobre muchos aspectos de nuestro organismo y las reacciones que suceden en él. Los fitoquímicos incluyen una amplia variedad de compuestos, como polifenoles y carotenoides, entre otros. Estos compuestos pueden actuar como antioxidantes, antiinflamatorios, y moduladores del sistema inmunológico, contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes.

La incorporación de alimentos ricos en fitoquímicos en la dieta diaria es una estrategia prometedora para mejorar la salud pública y reducir la incidencia de diversas enfermedades crónicas. A medida que avanza la investigación en este campo, los alimentos funcionales con alto contenido de fitoquímicos se posicionan como una valiosa herramienta en la promoción de una vida más saludable y en la prevención de enfermedades.

4 Desarrollo

4.1 Fitoquímicos

Los fitoquímicos son compuestos bioquímicos con actividad biológica, producidos en las plantas por procesos metabólicos primarios o secundarios. ¿Sabías que este tipo de moléculas pueden ayudar a las plantas a sobrevivir en periodos de estrés o cuando sufren ataque de agentes externos? Por ello, son moléculas importantes para el crecimiento de las plantas o la defensa contra patógenos o depredadores. Respecto a su consumo en la dieta humana, los fitoquímicos generalmente no se consideran componentes esenciales de la dieta y no son necesarios para mantener una vida normal, pero se sabe que poseen propiedades farmacológicas. Numerosos estudios epidemiológicos sugieren que las dietas ricas en fitoquímicos no solo protegen contra enfermedades crónicas, sino que también ayudan a proteger los sistemas celulares del daño oxidativo y, por tanto, ralentizan el envejecimiento prematuro.

Los fitoquímicos están presentes en alimentos como verduras, frutas, productos integrales, nueces, semillas, legumbres, té y chocolate. Aunque hay decenas de miles de fitoquímicos, solo se ha aislado e identificado un pequeño número. La diversidad de fitonutrientes ha proporcionado recursos únicos y renovables para descubrir posibles alimentos con nuevas funciones y actividades biológicas novedosas. Estos componentes se pueden clasificar, atendiendo a características estructurales comunes, en diversos grupos (Figura 1). Entre estos, los compuestos fenólicos o fenoles, compuestos organosulfurados, fitoesteroles o fitoestanoles y carotenoides han centrado mayoritariamente el interés debido a sus efectos beneficiosos sobre la salud. En la figura 2 se puede observar algunos ejemplos de cada uno de estos grupos de compuestos fitoquímicos.

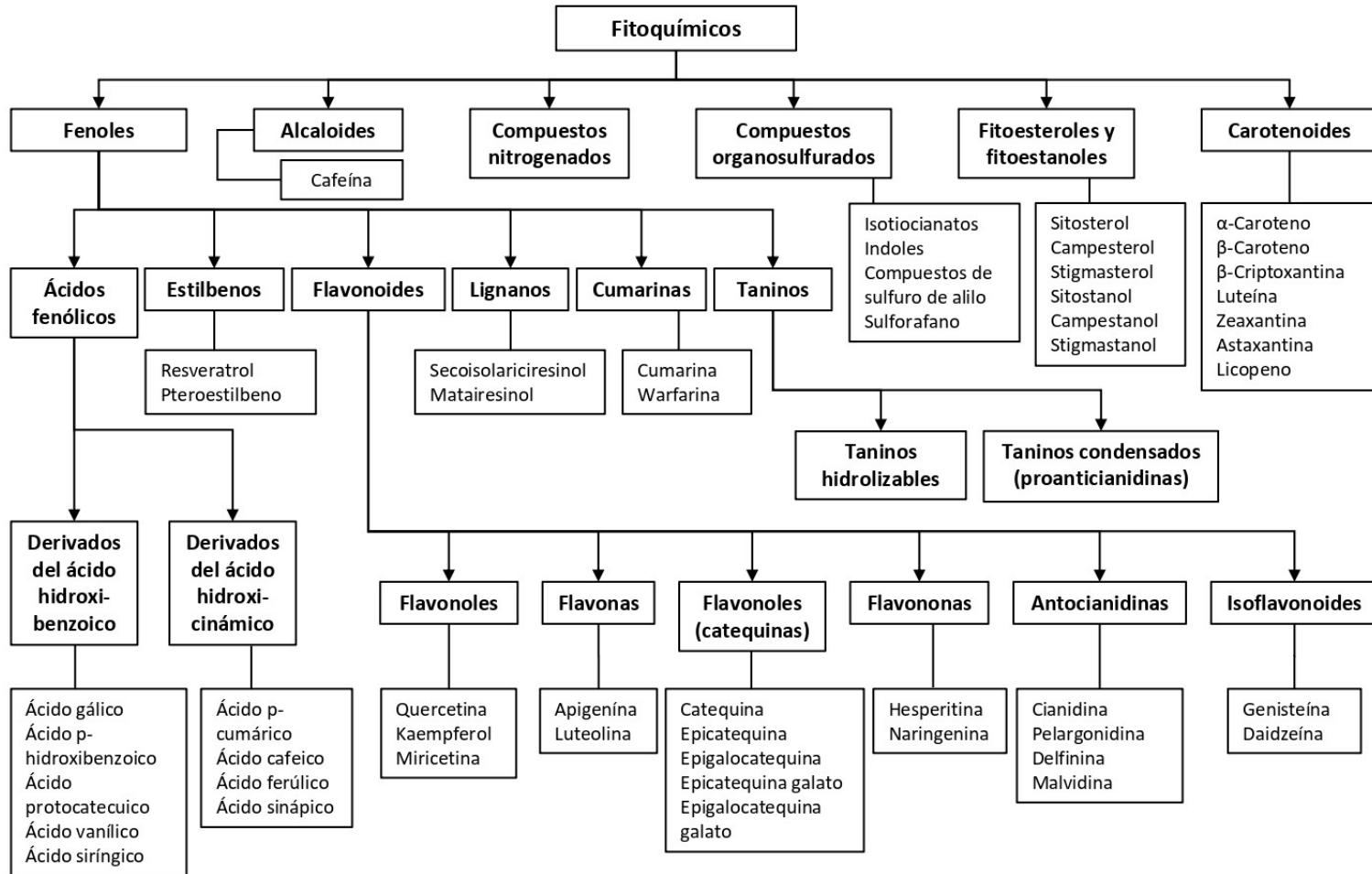


Figura 1. Clasificación de fitoquímicos dietéticos

FITOQUÍMICO	EJEMPLO	ESTRUCTURA QUÍMICA
Compuestos fenólicos: Ácidos fenólicos	<i>Ácido cumárico</i>	
Compuestos fenólicos: Taninos	<i>Tanino condensado</i>	
Compuestos fenólicos: Flavonoides	<i>Quercetina (Flavonol)</i>	
Compuestos organosulfurados	<i>Sulforafano</i>	
Fitoesteroles	<i>β-sitosterol</i>	
Carotenoides	<i>β-caroteno</i>	

Figura 2. Ejemplos de algunos fitoquímicos dietéticos.

4.2 Grupos de fitoquímicos más importantes

4.2.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen el grupo más abundante de fitoquímicos del reino vegetal. Los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y taninos son algunos de los compuestos fenólicos más importantes. Desde un punto de vista estructural, son un grupo muy amplio y heterogéneo, que se caracteriza por la presencia de al menos un anillo aromático con un grupo hidroxilo en su estructura. Abarca tanto compuestos con estructuras simples y bajo peso molecular (como por ejemplo los ácidos fenólicos) como compuestos poliméricos más complejos y de peso molecular más elevado (por ejemplo, los taninos) (Figura 2). En consecuencia, todas estas moléculas tienen diferencias en cuanto a su solubilidad, bioactividad, etc.

Los compuestos fenólicos son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstas. Los fenoles son sintetizados *de novo* por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque también existen factores ambientales que pueden influir. Además, actúan como fitoalexinas (las plantas heridas secretan fenoles para defenderse de posibles ataques fúngicos o bacterianos) y contribuyen a la pigmentación de muchas partes de la planta (por ejemplo, las antocianidinas son las responsables del color rojo, naranja, azul, púrpura o violeta que encontramos en las pieles de las frutas y hortalizas). Por otro lado, cuando los fenoles son oxidados, dan lugar a las quinonas que cuando se oxidan y polimerizan pueden producir un color pardo en los vegetales que muchas veces es indeseable; este proceso se conoce con el nombre de pardeamiento enzimático. Seguro que has visto este tipo de pardeamiento cuando troceas una manzana y la dejas en contacto con el aire.

Así pues, los fenoles se encuentran en casi todos los alimentos de origen vegetal e influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, como antioxidantes y proporcionan sabor. La astringencia de algunas semillas o por ejemplo los caquis o el vino se debe a la presencia de taninos. La cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc. son ejemplos de algunos alimentos ricos en fenoles.

En cuanto al efecto del consumo de estos compuestos en nuestra salud, se sabe que los compuestos fenólicos presentan varios efectos beneficiosos; pueden actuar en la prevención del cáncer, de enfermedades cardiovasculares o incluso de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. Destacan sus propiedades antioxidantes por el papel que tienen los fenoles en la supresión de los procesos oxidativos mediados por los radicales libres. Los polifenoles suelen encontrarse en los alimentos en forma de glicósidos con hidratos de carbono, que mayoritariamente no son absorbibles en la digestión. Su biodisponibilidad, así como, gran parte de los efectos biológicos, dependen en gran medida de su biotransformación por componentes específicos de la microbiota intestinal (que aporta diversas actividades enzimáticas, como la esterasa, glucosidasa, hidroxilasa, demetilasa, etc.). Los metabolitos derivados de la acción microbiana resultan fácilmente absorbibles, y su incorporación a la circulación enterohepática favorece su mayor tiempo de residencia en el organismo hasta que

son excretados mayoritariamente por la orina. Por ejemplo, la microbiota intestinal resulta esencial para la producción de los metabolitos activos derivados de compuestos fenólicos como las isoflavonas, con actividad estrogénica, o para la liberación de quercetina, con potente actividad antiinflamatoria. Sin embargo, otros compuestos fenólicos, como los elagitaninos son metabolizados en gran medida perdiendo parte de su potencial antioxidante. Por tanto, disponer de una microbiota intestinal en eubiosis (equilibrada) será fundamental para poder obtener todos los beneficios potenciales de estos compuestos.

Los polifenoles tradicionalmente han sido considerados como antinutrientes. Un ejemplo lo encontramos en los taninos. Los taninos pueden ocasionar daños en la mucosa digestiva, interfiriendo en la actividad enzimática y afectando a la digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos y minerales. Sin embargo, actualmente hay un interés creciente en estos compuestos debido a su capacidad antioxidante, tanto porque son captadores de radicales libres como quelantes de metales.

De todos los compuestos fenólicos, el grupo de los flavonoides es el más extendido en la naturaleza y dentro de ellos, los flavonoles son los que poseen una mayor actividad antioxidante (Figura 2). Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingesta rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, ya que disminuyen las tasas de colesterol y de LDL en sangre, y de este modo, pueden controlar, en parte, la formación de la placa de ateroma. Por otro lado, los isoflavonoides y los lignanos tienen una estructura muy similar a algunas hormonas como son los estrógenos, por lo que se les conoce como fitoestrógenos. Estos compuestos son metabolizados por las bacterias intestinales y dan lugar a sustancias, como la enterolactona, que tienen la propiedad de unirse a los receptores estrogénicos y mimetizar su acción. Así, se ha observado que los fitoestrógenos pueden disminuir el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cánceres por vías hormonodependientes.

4.2.2 Compuestos organosulfurados

Los compuestos organosulfurados se encuentran en un gran número de vegetales. Las fuentes vegetales más comunes de azufre en la dieta incluyen el brócoli, la coliflor, la col, el ajo y la cebolla. Existen dos familias principales de vegetales que contienen compuestos organosulfurados con propiedades específicas: los miembros de la familia *Amaryllidaceae*, que incluyen el ajo, la cebolla, la chalota, el puerro y el cebollino, y los miembros de la familia de las *Brassicaceae*, también conocidas como crucíferas, que incluyen la col, la coliflor, las coles de Bruselas, la col rizada y la rúcula.

En alimentos como el ajo y cebolla, estos compuestos determinan su olor y sabor, y son responsables en gran medida de las propiedades bioactivas que se les atribuye a su ingesta. Son ejemplos de estos compuestos el ajoeno, los sulfuros de dialilo y de alil metilo, la alicina, aliína, S-alil cisteína y el propil disulfuro. Todas ellas son sustancias beneficiosas para el sistema inmune y controlan la respuesta inflamatoria. Tanto es así que algunos de estos compuestos se pueden usar como complementos alimentarios en forma de extractos. Un ejemplo sería el uso de la alicina, que puede utilizarse con fines terapéuticos con actividad antifúngica y

antimicrobiana para la modulación de la microbiota intestinal. Otros efectos biológicos que se pueden atribuir a los compuestos organosulfurados de la familia *Amaryllidaceae* son la inhibición de la proliferación de células tumorales, ciertos efectos hipolipidémicos e hipocolesterolémicos y propiedades antitrombóticas, ya que inhiben la agregación plaquetaria.

En la familia de las *Brassicaceae* o crucíferas destacan los glucosinolatos, principalmente en las coles de Bruselas y el kale. Estas sustancias se transforman en metabolitos bioactivos como los llamados isotiocianatos sulfurados, nitrilos y tiocianatos, que son los que realmente tienen acción anticancerígena en nuestro organismo. Esta transformación se lleva a cabo en el organismo bajo la acción de la enzima mirosinasa, que se libera y entra en contacto con estos compuestos (sustratos) cuando los tejidos de estas hortalizas se cortan, maceran, dañan y también en el tracto gastrointestinal cuando la hortaliza se ingiere. Un ejemplo de isotiocianato sería el sulfurafano (Figura 2).

4.2.3 Fitoesteroles y fitoestanoles (esteroles vegetales)

Los fitoesteroles y los fitoestanoles son compuestos lipófilos que se encuentran de forma natural en las plantas en forma libre o unida covalentemente a través de un enlace éster O-glucosídico. La estructura básica de un fitoesterol incluye, un anillo esterol insaturado, es decir, un núcleo esteroide de cuatro anillos fusionados (tres anillos hexagonales y uno pentagonal), una cadena lateral alquílica en el carbono 17 y un grupo hidroxilo en el carbono 3. Los fitoestanoles son una forma saturada de los fitoesteroles. Corresponden a metabolitos secundarios de las plantas, que son sintetizados y utilizados por las células, y aunque no son esenciales tienen un papel fundamental en la supervivencia de las plantas. Su principal función está relacionada con la fluidez y la permeabilidad de las membranas celulares vegetales. Desde un punto de vista químico, los fitoesteroles y los fitoestanoles tienen estructuras y funciones similares a las del colesterol en las células animales. Debido a esta similitud, se ha demostrado clínicamente que los fitoesteroles y los fitoestanoles reducen la absorción de colesterol (que reduce el colesterol sérico) tanto *in vitro* como *in vivo*. Dado que el colesterol circulante, especialmente el LDL, es uno de los principales factores de riesgo de las enfermedades cardiovasculares, impedir la absorción del colesterol conduce potencialmente a una reducción del riesgo de padecer enfermedades cardíacas. Los fitoesteroles y fitoestanoles son toxicológicamente seguros en las concentraciones estándar que se encuentran en los alimentos naturales y procesados (hasta 20 g/día). Muchos estudios han demostrado que los fitoesteroles y los fitoestanoles tienen otros efectos que promueven la salud; por ejemplo, mejoran la respuesta inmunitaria frente al cáncer, actúan como antioxidantes al eliminar radicales libres y funcionan como citotóxicos contra células tumorales.

Las semillas de oleaginosas y de cereales son las mayores fuentes naturales de fitoesteroles. Sin embargo, se absorben mal y se excretan más rápido desde el hígado que el colesterol, lo que explica su bajo contenido en el tejido humano. Se estima que la ingesta diaria de fitoesteroles se encuentra en un rango entre 160 mg/día y 500 mg/día, lo que equivale a menos de la mitad de las recomendaciones para obtener efectos beneficiosos. Por este motivo, y por

la fuerte evidencia de que los fitoesteroles y los fitoestanoles tienen efectos beneficiosos en los seres humanos, se permite la adición de estos compuestos en alimentos funcionales. Algunos de estos alimentos incluyen margarina, leche y productos lácteos procesados, jugos de frutas, oleogelatos a base de esteroides, bebidas de soja y chocolate rico en fitoesteroides. Las tendencias actuales en investigación asociadas con la adición de fitoesteroides/fitoestanoles durante la fabricación de alimentos están centradas en solucionar sus dos principales limitaciones: producen una disminución de la absorción de carotenoides, tocoferoles y vitaminas lipofílicas, y son fácilmente oxidables.

4.2.4 Carotenoides

Los carotenoides son importantes por su papel antioxidante y también por el efecto que ejercen en la protección de diversas enfermedades como ciertos tipos de cáncer, enfermedades del corazón y la degeneración macular relacionada con la edad. Además, algunos carotenoides son fuente de provitamina A. Como alimentos vegetales ricos en carotenoides destacan el tomate, zanahoria, maíz, cítricos o azafrán.

Desde el punto de vista químico, los carotenoides son tetraterpenos constituidos por unidades múltiples de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos. Existen dos tipos de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales y las xantofilas que sí. Las funciones oxigenadas más comunes son los grupos hidroxilo (OH) y epoxi (epóxidos 5,6- ó 5,8-). También se encuentran los grupos aldehído (CHO), ceto (C=O), carboxi (COOH), carbometoxi (COOMe) y metoxi (OMe). Se han aislado y caracterizado más de 600 carotenoides, pero este número es menor en los alimentos.

Los carotenoides son pigmentos liposolubles naturales sintetizados por las plantas, algas y bacterias fotosintéticas. Por su insaturación son sensibles al oxígeno, metales, ácidos, peróxidos, calor, luz y a las lipoxigenasas. Algunos pueden actuar como precursores de la vitamina A, dependiendo de la presencia de un anillo de β -ionona en su estructura química y de la capacidad de conversión del carotenoide en retinol por parte de los animales. El β -caroteno es importante por tener dos anillos de β -ionona, por lo que se le asigna un 100% de actividad vitamínica A. Otros carotenoides con actividad de provitamina A son: α -caroteno (50-54%), β -zeacaroteno (20-40%), γ -caroteno (50-52%), β -criptoxantina (50-60%) y β -apo-8'-carotenal (72%), mientras que las xantofilas zeaxantina, luteína, licopeno, astaxantina y violaxantina no son precursores de esta vitamina.

Durante los últimos años, las pruebas epidemiológicas que apoyan un efecto protector de los carotenoides frente al desarrollo de enfermedades crónicas y degenerativas han crecido considerablemente. La hipótesis de que nutrientes antioxidantes (β -caroteno, luteína/zeaxantina, licopeno, astaxantina, entre otros) puedan jugar un papel preventivo frente al cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y degeneración macular por la edad se basa en pruebas experimentales que sugieren que estos compuestos funcionan como antioxidantes, moduladores de la respuesta inmune, modificadores de procesos inflamatorios y de transducción de señales en y entre células. Todo esto, junto con la distribución

preferencial en determinados tejidos, permite el planteamiento de mecanismos biológicos por los cuales estos compuestos pueden disminuir el riesgo de enfermedades crónicas.

5 Cierre

En conclusión, los compuestos fitoquímicos presentes en los alimentos desempeñan un papel crucial en la nutrición y la salud humana, ofreciendo una vía prometedora para la prevención y el manejo de enfermedades crónicas no transmisibles. A lo largo de este objeto de aprendizaje, hemos examinado la relevancia de diversos fitoquímicos, como los compuestos fenólicos, compuestos organosulfurados, carotenoides, fitoesteroles y fitoesteranos. Hemos visto cuál es su estructura y cómo cada uno de estos grupos de compuestos aporta beneficios específicos que contribuyen a la reducción del riesgo y la mejora de condiciones asociadas a este tipo de enfermedades.

6 Bibliografía

- Carranco Jáuregui, M. E., Calvo Carrillo, M., & Pérez-Gil Romo, F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 61(3), 233-241.
- Champagne, C. P., Gomes da Cruz, A., & Daga, M. (2018). Strategies to improve the functionality of probiotics in supplements and foods. *Current Opinion in Food Science*, 22, 160–166.
- de Ancos, B., Fernández-Jalao, I., & Sánchez-Moreno, C. (2016). Compuestos funcionales en productos de IV YV Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 130-148.
- Dwivedi, A., Singh, S., Kumar, S., & Mittal, P. C. (2020). Organosulfur phytochemicals against metabolic and neurodegenerative diseases: benefits and risks. In *Phytochemicals as Lead Compounds for New Drug Discovery* (pp. 179-194). Elsevier.
- Guillamón, E. (2018). Efecto de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 59(3), 185-196.
- Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 4(3).
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., Bysted, A., Cano, M. P., Dias, M. G., Elgersma, A., Fikselová, M., García-Alonso, J., Giuffrida, D., Gonçalves, V. S. S., Hornero-Méndez, D., Kljak, K., Lavelli, V., Manganaris, G. A., Mapelli-Brahm, P., ... O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 1999–2049.
- Rodríguez-Concepción, M., Avalos, J., Bonet, M. L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Méndez, D., Limón, M. C., Meléndez-Martínez, A. J., Olmedilla-Alonso, B., Palou, A., Ribot, J., Rodrigo, M. J., Zacarias, L., & Zhu, C. (2018). A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*, 70(February), 62–93.
- Sharma, D. R., Kumar, S., Kumar, V., & Thakur, A. (2019). Comprehensive review on nutraceutical significance of phytochemicals as functional food ingredients for human health management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(5), 385–395.
- Silva, P., Pinheiro, A. C., Rodríguez, L., Figueroa, V., & Baginsky, C. (2016). Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(1), 017-024.
- Spencer, S. J., Korosi, A., Layé, S., Shukitt-Hale, B., & Barrientos, R. M. (2017). Food for thought: how nutrition impacts cognition and emotion. *Npj Science of Food*, 1(1), 1–7.