

Antioxidantes de origen alimentario y su impacto en el estrés oxidativo y la hipertensión: evidencia y mecanismos vía función endotelial

Dietary antioxidants and their impact on oxidative stress and hypertension: evidence and mechanisms via endothelial function

César Antonio Sánchez Cárdenas^{1**}, Lorenzo Hernández Olivas², Daniela Canizales Arce².

1. Facultad de Ciencia de la Nutrición y Gastronomía, Profesor asignatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México.

2. Facultad de Ciencia de la Nutrición y Gastronomía, Maestría en Ciencias de la Nutrición y Alimentos Medicinales, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, México.

**Correspondencia: cesar.sanchez@uas.edu.mx

Palabras claves	RESUMEN
Hipertensión arterial; Estrés oxidativo; Antioxidantes; Función endotelial; polifenoles	Introducción: La hipertensión arterial es un problema de salud pública estrechamente relacionado con el estrés oxidativo y la disfunción endotelial. Diversos antioxidantes de origen alimentario podrían contribuir al control de la presión arterial. El objetivo de esta revisión narrativa fue sintetizar la evidencia disponible sobre el impacto de antioxidantes dietarios en el estrés oxidativo, la función endotelial y la hipertensión arterial. Método: Se realizó una revisión narrativa de literatura científica sobre vitaminas antioxidantes, carotenoides, polifenoles, alimentos y patrones dietéticos ricos en antioxidantes, así como sus mecanismos de acción y efectos sobre biomarcadores oxidativos y presión arterial. Resultados: La evidencia revisada indica que antioxidantes como polifenoles, carotenoides y vitaminas C y E pueden mejorar la biodisponibilidad de óxido nítrico, reducir especies reactivas de oxígeno y modular vías relacionadas con NADPH oxidasa, eNOS, endotelina-1 y sistema renina-angiotensina. Los alimentos y patrones dietéticos ricos en antioxidantes mostraron efectos más consistentes que los suplementos aislados. Sin embargo, los resultados sobre presión arterial fueron variables y generalmente modestos. Conclusión: Los antioxidantes de origen alimentario podrían actuar como coadyuvantes en el manejo de la hipertensión, especialmente dentro de patrones dietéticos saludables. No obstante, se requieren estudios clínicos mejor estandarizados para confirmar su relevancia clínica.
Keywords	ABSTRACT
Hypertension; Oxidative stress; Antioxidants; Endothelial function; Polyphenols	Introduction: Hypertension is a major public health problem closely associated with oxidative stress and endothelial dysfunction. Dietary antioxidants may contribute to blood pressure control. The aim of this narrative review was to synthesize the available evidence on the impact of food-derived antioxidants on oxidative stress, endothelial function, and hypertension. Method: A narrative review of the scientific literature was conducted on antioxidant vitamins, carotenoids, polyphenols, antioxidant-rich foods and dietary patterns, as well as their mechanisms of action and effects on oxidative biomarkers and blood pressure. Results: The reviewed evidence indicates that antioxidants such as polyphenols, carotenoids, and vitamins C and E may improve nitric oxide bioavailability, reduce reactive oxygen species, and modulate pathways related to NADPH oxidase, eNOS, endothelin-1, and the renin-angiotensin system. Antioxidant-rich foods and dietary patterns showed more consistent effects than isolated supplements. However, blood pressure outcomes were variable and generally modest. Conclusion: Food-derived antioxidants may serve as adjuvants in hypertension management, particularly when consumed as part of healthy dietary patterns. Nevertheless, better standardized clinical studies are needed to confirm their clinical relevance.

INTRODUCCIÓN.

La hipertensión arterial se define como una afección en la que la tensión de los vasos sanguíneos aumenta de manera persistente (Organización Mundial de la Salud, 2025); es una de las condiciones con mayor riesgo global de mortalidad y representa un factor de riesgo potencial para eventos cerebrovasculares, infarto agudo de miocardio, insuficiencia cardíaca, accidente cerebrovascular y muerte cardiovascular (Kintscher, 2013). De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021–2024, la prevalencia de hipertensión arterial en México en adultos de 20 años o más es de 29.1 % (Campos-Nonato et al., 2025). Asimismo, a nivel global,

constituye un importante problema de salud pública; en 2024 se estimó que 1.4 mil millones de personas la padecían, lo que equivale aproximadamente al 33 % de la población mundial (Organización Mundial de la Salud, 2025). Aunque la terapia farmacológica es un tratamiento eficaz, su uso se asocia con diversos efectos adversos, lo que puede contribuir a dificultades de adherencia terapéutica (Gebreyohannes et al., 2019). Ante este panorama, la intervención nutricional y un estilo de vida saludable tienen efectos beneficiosos para la prevención y control de la hipertensión arterial (Valero Zanuy, 2013), más allá de las modificaciones clásicas en la dieta, los compuestos bioactivos antioxidantes podrían influir de manera importante en el estrés oxidativo y la función

endotelial, ayudando a mejorar el control de la presión arterial (Czernichow et al., 2005; Guan et al., 2020; Qi et al., 2024). En la fisiopatología de la hipertensión se ve aumentado el estrés oxidativo debido al aumento de las especies reactivas de oxígeno (p. ej., NOX2/NADPH oxidasa, mitocondria y eNOS desacoplada). Esto reduce la producción de óxido nítrico, disminuyendo la vasodilatación, favoreciendo la vasoconstricción, rigidez y remodelación vascular, así como a la reabsorción renal de sodio; en conjunto eleva y mantiene la presión arterial (Harrison et al., 2021). Los compuestos bioactivos de fuentes vegetales como los compuestos fenólicos (p.ej., flavonoides) y carotenoides (pigmentos terpenoides), tienen un papel importante al mitigar los efectos dañinos de las especies reactivas de oxígeno y reducir el daño oxidativo. Por lo tanto, se ha reportado que estos compuestos tienen un efecto protector frente a enfermedades relacionadas a la presencia del estrés oxidativo (Chandimali et al., 2025). En consecuencia, resulta relevante la búsqueda y análisis de evidencia del papel de los antioxidantes provenientes de los alimentos como posibles coadyuvantes al tratamiento antihipertensivo. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión narrativa fue sintetizar y discutir la evidencia disponible sobre el impacto de antioxidantes de origen alimentario en el estrés oxidativo, la función endotelial y el control de la presión arterial, destacando los mecanismos propuestos y la consistencia de los hallazgos.

METODOLOGÍA.

Se realizó una revisión narrativa de la literatura científica con el propósito de sintetizar la evidencia disponible sobre la relación entre antioxidantes de origen alimentario, estrés oxidativo, función endotelial e hipertensión arterial. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos y fuentes académicas especializadas, incluyendo PubMed, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Cochrane Library. El proceso de búsqueda se realizó hasta mayo de 2025 y consideró publicaciones comprendidas entre 1988 y 2025, con el propósito de integrar estudios clásicos relacionados con óxido nítrico, estrés oxidativo y función endotelial, así como evidencia reciente sobre antioxidantes alimentarios e hipertensión arterial. Se utilizaron términos de búsqueda en español e inglés, incluyendo: “hipertensión arterial”,

“estrés oxidativo”, “función endotelial”, “antioxidantes alimentarios”, “antioxidantes dietarios”, “polifenoles”, “carotenoides”, “vitamina C”, “vitamina E”, “óxido nítrico”, “NADPH oxidasa”, “sistema renina-angiotensina”, “hypertension”, “oxidative stress”, “endothelial function”, “dietary antioxidants”, “food-derived antioxidants”, “polyphenols”, “carotenoids”, “vitamin C”, “vitamin E”, “nitric oxide”, “NADPH oxidase” y “renin-angiotensin system”.

Se incluyeron artículos originales, revisiones narrativas, revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos y estudios experimentales publicados principalmente en inglés y español, que abordaran mecanismos fisiopatológicos o efectos de antioxidantes dietarios sobre biomarcadores de estrés oxidativo, función endotelial o presión arterial. Se priorizaron publicaciones recientes, sin excluir estudios clásicos relevantes para explicar los mecanismos biológicos. Se excluyeron documentos sin relación directa con hipertensión, estrés oxidativo o antioxidantes alimentarios, así como publicaciones sin información metodológica suficiente. La información fue organizada de manera temática, integrando evidencia mecanística, experimental y clínica.

Hipertensión y estrés oxidativo.

El estrés oxidativo es un mecanismo de lesión que participa en varios procesos patológicos y se desencadena cuando hay un desequilibrio en la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO) y los sistemas de defensa antioxidante. Los efectos de las ERO pueden interferir en procesos de comunicación y función celular, perjudicando distintos mecanismos que dependen del equilibrio redox (Hool & Corry, 2007; Kimura et al., 2005; Yoshioka et al., 2006). Se pueden sintetizar por vías enzimáticas y no enzimáticas, una de las principales es mediante un complejo enzimático que se encuentra en la membrana celular llamadas NADPH oxidasas; asimismo otras enzimas pueden contribuir a su producción como xantina oxidasa, la NO sintasa (NOS) y enzimas mitocondriales (Rodrigo et al., 2011). Además se ha reportado que el aumento de angiotensina II in vitro e in vivo provoca un aumento de ERO en las células del músculo liso vascular mediada por enzimas oxidasas NADPH (Griendling et al., 1994;

Rajagopalan et al., 1996). Del mismo modo las ERO a nivel renal, aumentan la reabsorción renal de sodio, elevando el volumen intravascular e incrementando el gasto cardíaco (Pavlov & Staruschenko, 2017). Sumado a esto en el endotelio, el óxido nítrico es un potente vasodilatador, antiinflamatorio y el aumento de la actividad de eNOS (óxido nítrico sintasa endotelial) beneficia la regulación de la presión arterial (Elmarakby et al., 2023). La síntesis de NO se lleva a cabo por una familia de enzimas NO-sintasas (NOS) en específico la óxido nítrico sintasa endotelial, que convierten al aminoácido L-arginina en L-citrulina y óxido nítrico (Palmer et al., 1988). El aumento de superóxido y otras especies reactivas de oxígeno puede inactivar al NO mediante oxidación y al oxidar la tetrahidrobiopterina (BH4), cofactor fundamental para la función de la óxido nítrico sintasa endotelial (eNOS) (Laursen et al., 2001; Somers et al., 2000). Asimismo pueden alterar el calibre y la reactividad vascular debido al aumento de la vasoconstricción, así como interfieren en el endurecimiento vascular y remodelación de las microarteriolas (L. Li et al., 2015; J. Wu et al., 2016). En hipertensión, la producción incrementada de ERO a través de estas vías contribuye a un círculo vicioso que mantiene la elevación de la presión arterial lo que propicia disfunción vascular y daño cardiovascular (Harrison et al., 2007). En conjunto, la sobreproducción de ERO, induce estrés oxidativo, disminuye la biodisponibilidad de NO, favorece la vasoconstricción, daño renal, la rigidez y remodelación vascular, contribuyendo la persistencia de la presión arterial (figura 1).

de la vía angiotensina II-NADPH oxidasa (NOX) aumentan la generación de ERO, lo cual provoca el desacoplamiento de eNOS y la disfunción endotelial. En paralelo, en la vía renal ERO, aumenta la reabsorción renal, volumen vascular y gasto cardíaco. En conjunto, estos cambios incrementan la vasoconstricción, rigidez vascular y resistencia periférica desencadenando un aumento de la presión arterial. (↑ indica aumento; ERO: especies reactivas de oxígeno; NO: óxido nítrico; BH4: tetrahidrobiopterina; eNOS: óxido nítrico sintasa endotelial).

Función endotelial como eje central.

Los vasos sanguíneos están constituidos por varios componentes, incluyendo células musculares lisas vasculares (CMLV), células endoteliales y tejido adventicio; el endotelio está constituido por una sola capa delgada de células (Rajendran et al., 2013); tiene funciones importantes como el mantenimiento del tono vascular basal, filtración de líquidos, reclutamiento de neutrófilos y transporte de hormonas (Durand & Guterman, 2013). El desequilibrio de la síntesis y secreción de factores endoteliales capaces de relajar el músculo liso vascular contribuye a la aparición de la disfunción endotelial (López-Miranda Gonzalez & Aleixandre de Artiñano, 1999). El endotelio regula el tono vascular mediante la liberación de compuestos vasodilatadores (prostaciclina, óxido nítrico (NO) y factor hiperpolarizante derivado del endotelio (EDHF)) y vasoconstrictores (endoperóxidos, tromboxano A2, aniones superóxido ($O_2^{\bullet-}$) y endotelina) (Vanhoutte, 1996). En hipertensión, este balance se desplaza hacia un fenotipo vasoconstrictor, por disminución de óxido nítrico (NO) y mayor síntesis de mediadores contráctiles, como péptidos vasoconstrictores (endotelina-1, angiotensina II), especies reactivas de oxígeno como los superóxidos y metabolitos del ácido araquidónico con efecto contráctil (Vanhoutte et al., 2005). En este sentido, estímulos como la angiotensina II puede activar la NADPH oxidasa (NOX1), aumentando la generación de superóxido. El superóxido reacciona con el NO y forma peroxinitrito, el cual oxida BH4 (cofactor de eNOS) y promueve el desacoplamiento de eNOS; así, eNOS produce más superóxido en vez de NO, se perpetúa el estrés oxidativo y se desencadenan disfunción endotelial, menor vasodilatación y presión arterial elevada (Q. Li et al., 2015), contribuyendo al aumento de la resistencia vascular periférica.

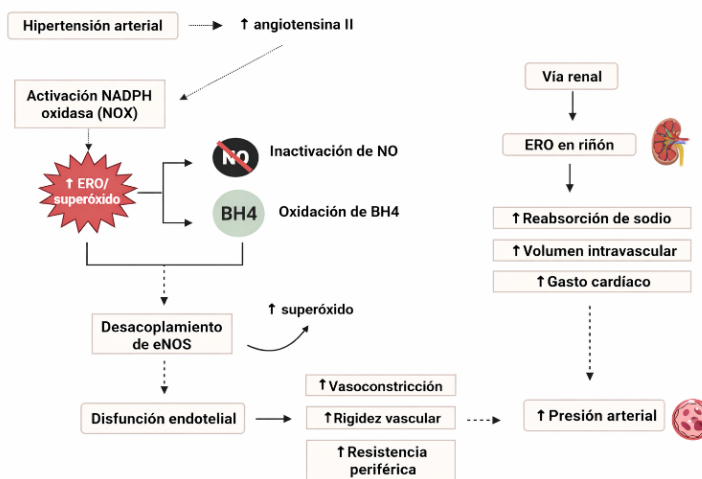


Figura 1 **Mecanismos ERO-NO en hipertensión arterial: NOX, BH4/eNOS y vía renal.** En la hipertensión, la activación

Antioxidantes alimentarios.

Definición y clasificación.

Los antioxidantes son un conjunto de moléculas que tienen un papel clave al neutralizar radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ERO), así como al retardar la oxidación de otras moléculas; por ello se ha propuesto que pueden ayudar a retrasar o prevenir la progresión de enfermedades crónicas (Sun & Johnson, 2015). De manera general, se clasifican en exógenos obtenidos a través de la dieta (vitaminas, minerales, carotenoides, polifenoles) y endógenos, conformados por el sistema antioxidante del organismo. Este último incluye componentes enzimáticos (p. ej., catalasa, superóxido dismutasa, glutatión reductasa) y no enzimáticos (p. ej., ácido lipoico, ubiquinona, aminoácidos) (Flieger et al., 2021). A continuación, se describen las principales fuentes alimentarias de antioxidantes exógenos.

Vitaminas y minerales.

Entre las fuentes con mayor contenido de vitamina C se encuentran el pimiento morrón rojo, kiwi, fresa y cebollín, repollo morado, naranja y limón, aunque su contenido puede variar según madurez y procesamiento (Pearson et al., 2017; Yang & Xu, 2016). Por otro lado, la vitamina E (alfa-tocoferol) se reporta en mayor proporción en aceites comestibles (p. ej., aceite de cártamo y girasol), seguida de semillas y frutos secos (p. ej., almendras, semilla de girasol, avellanas) algunas verduras (p. ej., espinacas, brócoli, tomate) y frutas (p. ej., kiwi y mango) (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2019). En cuanto a la Vitamina A (retinol) destaca principalmente en alimentos de origen animal como, hígado, leche entera, yema de huevo y productos lácteos (Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization, 2002). Entre los minerales con función antioxidante se incluyen selenio, zinc, hierro, cobre y manganeso (Wołonciej et al., 2016); sus fuentes alimentarias incluyen carnes, pescado, cereales listos para comer, frutos secos y leguminosas (Pennington & Young, 1990).

Carotenoides y polifenoles.

Los principales carotenoides con un importante papel antioxidante son α -caroteno, β -caroteno, licopeno, β -criptoxantina, luteína y zeaxantina (Bahonar et al., 2017). Los carotenoides se obtienen principalmente de zanahoria y calabaza (α -caroteno), frutas y verduras naranja/verde oscuro (β -caroteno), tomate y derivados (licopeno), frutas tropicales y pimientos rojos (β -criptoxantina), verduras de hoja verde y maíz (luteína) y yema de huevo, maíz y hojas verdes (zeaxantina) (Holden et al., 1999). En cuanto a los polifenoles destacan flavonas, flavanonas, flavonoles, flavanoles, antocianinas, isoflavonas y ácidos fenólicos (G. Fraga et al., 2019; Manach et al., 2004); Los ácidos fenólicos se encuentran principalmente en frutas rojas, cebolla, fresas, frambuesas, mora, mango y café. Los flavonoles están presentes en cebolla, col rizada, arándanos, brócoli; las flavonas se reportan en perejil, apio, cereales (mijo, trigo) y piel de los cítricos; las flavononas se encuentran en tomates, frutas cítricas (pomelo, naranja, limón); las isoflavonas están presentes de manera casi exclusiva en las leguminosas; y, por ultimo las antocianinas se identifican en cereales, vino tinto, rábano, cebollas, repollo, berenjenas, frijol y en la piel y pulpa de frutas como cereza y fresa (Manach et al., 2004). En conjunto, estos antioxidantes provenientes de la dieta poseen compuestos capaces de modular el equilibrio redox, por ello su estudio es pertinente en la hipertensión como enfermedad crónica asociada al estrés oxidativo.

Polifenoles y presión arterial.

Los polifenoles representan uno de los grupos de antioxidantes alimentarios con mayor evidencia experimental y clínica relacionada con la función vascular. Diversos estudios han señalado que estos compuestos pueden favorecer la biodisponibilidad de óxido nítrico, modular mediadores vasoconstrictores como endotelina-1 y atenuar vías asociadas con estrés oxidativo, incluyendo NADPH oxidasa y el sistema renina-angiotensina. Estos mecanismos se han relacionado con mejoras en la función endotelial y con reducciones modestas de la presión arterial en algunos estudios en humanos, revisiones y metaanálisis. Sin embargo, la magnitud del efecto puede variar según el tipo de polifenol, la dosis, la

matriz alimentaria, la biodisponibilidad y las características de la población evaluada.

Evidencia por grupos de antioxidantes alimentarios.

Vitaminas antioxidantes y carotenoides.

Una revisión sistemática indica que las vitaminas A, C y E combaten las ERO al modificar la expresión génica y favorecer la producción de NO, potenciando la vasodilatación (Młynarska et al., 2024). Asimismo, se ha evidenciado que los carotenoides modulan vías redox e inflamatorias vinculadas a la función endotelial, con efectos positivos en ECV, incluida la HTA, por su acción antioxidante (Kaulmann & Bohn, 2014; Wolak & Paran, 2013).

Una revisión de ensayos clínicos concluyó que los carotenoides pueden reducir la HTA en humanos y animales, con posible participación de NADPH oxidasa, citocinas inflamatorias y angiotensina II (Abbasian et al., 2023); no obstante, otros estudios no observaron dicho efecto (Gajendragadkar et al., 2014; Ried et al., 2009).

Ácido ascórbico.

La vitamina C es un compuesto hidrosoluble que cumple importantes funciones antioxidantes en el organismo, por lo que tiene el potencial para proteger proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos (ADN y ARN) contra el daño oxidativo causado por diversos radicales libres y otras especies reactivas (Carr & Frei, 1999). El ácido ascórbico es un nutriente esencial; a diferencia de la mayoría de los mamíferos, los humanos no pueden sintetizar vitamina C, por lo que debe obtenerse a través de la dieta (Office of Dietary Supplements (ODS), National Institutes of Health, 2021).

Vitamina E.

La vitamina E incluye dos familias de compuestos liposolubles: tocoferoles y tocotrienoles, presentes en los alimentos en distintas proporciones (Sen et al., 2006). En humanos, el α -tocopherol predomina en circulación debido a un transporte hepático selectivo, mientras que otros isómeros se metabolizan con mayor rapidez. Su función

principal se relaciona con su acción antioxidante en ambientes lipídicos, limitando la oxidación de lípidos (O'Byrne et al., 2000).

Carotenoides.

Los carotenoides son compuestos de origen vegetal (Maoka, 2020). En la dieta están presentes carotenoides como alfa-caroteno, betacaroteno y licopeno, así como xantofilas como beta-criptoxantina, luteína y zeaxantina (Islam & Gracia, 2013). Su biodisponibilidad limitada puede atribuirse a la matriz del alimento, sin embargo, procesos como el cortado y la cocción pueden incrementarla (Parker et al., 1999). Para que sean absorbidos a nivel intestinal, estos deben ser liberados de la matriz e incorporados a micelas; por lo tanto, una cantidad mínima de grasas (3-5 g) en una comida es requerida para asegurar su eficiente absorción intestinal (Widjaja-Adhi & Golczak, 2020).

En conjunto, las vitaminas antioxidantes y los carotenoides pueden contribuir al equilibrio redox y a la protección vascular; sin embargo, la evidencia sobre reducción directa de la presión arterial es variable. Por ello, su efecto parece ser más consistente cuando forman parte de alimentos o patrones dietéticos saludables que cuando se administran como suplementos aislados.

Evidencia con alimentos vs suplementos.

La evidencia epidemiológica y clínica sugiere que el riesgo relativo (RR) de desarrollar o morir por enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) se asocia de manera inversa con la ingesta de alimentos ricos en antioxidantes, particularmente frutas y hortalizas (Hung et al., 2004). Sin embargo, estos beneficios no se reproducen necesariamente con la suplementación aislada. Aunque las vitaminas antioxidantes (p. ej., C y E) han mostrado efectos biológicos en algunos contextos, una revisión de la Cochrane Library concluyó que no existe evidencia suficiente para recomendar suplementos antioxidantes para la prevención primaria o secundaria de ECNT y que, en algunos casos, la suplementación con vitamina A, betacaroteno y vitamina E puede asociarse con aumento de mortalidad (Bjelakovic et al., 2008). En concordancia, *guías clínicas* recientes señalan que no se debe utilizar la suplementación vitamínica

adicional para disminuir la mortalidad por enfermedad coronaria (Rao et al., 2025). La evidencia sugiere que los suplementos antioxidantes aislados no replican los beneficios de los alimentos completos.

Grupos de alimentos ricos en antioxidantes y su relación con la presión arterial.

Nueces.

La suplementación de una dieta habitual con nueces durante dos años redujo la presión arterial sistólica (PAS) y la PAS media ambulatoria de 24 h en pacientes con HTA elevada y leve en comparación con una dieta habitual sin nueces, sin embargo, estos resultados deben confirmarse en personas más jóvenes y en cohortes no mediterráneas (Domènech et al., 2019). No está completamente claro si los efectos cardiovasculares de las nueces se deben principalmente a su perfil de ácidos grasos, incluido el ácido α -linolénico (ALA) o a otros compuestos bioactivos presentes en su matriz. En un estudio se compararon tres intervenciones dietéticas: una dieta enriquecida con nueces (7% de AGS, 16% de AGP, 3% de ALA y 9% de AGM), una dieta con nueces y una mezcla específica de ácidos grasos, y una dieta con sustitución por ALA y ácido oleico (7% de AGS, 14% de AGP, 0.5% de ALA y 12% de AGM). Los autores concluyeron que sustituir AGS por AGP provenientes de nueces y aceites vegetales, junto con AGM, mejora significativamente algunos factores de riesgo cardiovascular como colesterol total y LDL, sin cambios relevantes en HDL; además, se observó una reducción de la presión arterial diastólica. (Tindall et al., 2019).

Aceite de oliva vs Frutos secos en la presión arterial.

La evidencia científica ha mostrado que las dietas mediterráneas enriquecidas con aceite de oliva extra virgen o frutos secos mixtos reducen las tasas de incidencia de ECV, incluso en personas con alto riesgo cardiovascular (Domènech et al., 2014). Por otro lado, un estudio comparó los efectos de 50 ml de aceite de oliva rico en polifenoles y 30 g frutos secos mixtos en dietas mediterráneas sobre la presión arterial y índices lipídicos séricos en

personas con riesgo de ECV incluida la HTA. Reportando que ambas dietas suplementadas no muestran diferencias significativas en el índice lipídico ni en la PAD, pero sí se observa que el aceite de oliva produce una disminución de PAS comparada con los frutos secos mixtos, sin embargo, se necesitan más estudios en diversas poblaciones (Pourrajab et al., 2025).

Leguminosas.

En un ensayo se comparó la dieta DASH original con una versión de DASH enriquecida con leguminosas (incremento de al menos una porción) y con reducción de una porción de carnes rojas durante 16 semanas. Los autores reportaron que, para reducir la presión arterial, fue más efectivo aumentar el consumo de leguminosas y mantener un patrón dietario alto en vegetales; en contraste, una mayor ingesta de dulces, calorías y sodio se asoció con incrementos en la presión arterial (Hosseinpour-Niazi et al., 2022).

Biomarcadores de estrés oxidativo en estudios humanos.

En estudios humanos, el estrés oxidativo suele evaluarse mediante biomarcadores que reflejan daño oxidativo o capacidad antioxidante. Entre los más utilizados se incluyen Malondialdehído (MDA), Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), la 8-hidroxidesoxiguanosina (8- OHdG) el glutatión (GSH), catalasa (CAT) la superóxido dismutasa (SOD), Capacidad antioxidante total (CAT), Glutatión peroxidasa (Gpx), los isoprostanos, peroxidación lipídica (LPO), Estado Oxidante total (TOS) y el Estado antioxidante total (TAS), más comunes de la revisión por estudios controlados (S et al., 2024). No obstante, algunos biomarcadores de estrés oxidativo tienen limitaciones metodológicas y de especificidad; por ello, deben interpretarse con cautela y complementarse (Murphy et al., 2022).

Implicaciones prácticas y limitaciones.

Patrones dietéticos y alimentos.

Estudios epidemiológicos han reportado que un mayor consumo de frutas, hortalizas y legumbres se asocia con un menor riesgo de diversas

patologías crónicas, incluida la enfermedad cardiovascular, correlacionado al contenido de antioxidantes como ácido ascórbico, carotenoides y flavonoides (Agudo et al., 2007; Boffetta et al., 2010; Chun et al., 2010). La OMS recomienda una ingesta mínima de 400 g/día (5 porciones de vegetales y frutas), considerado como un aporte óptimo de antioxidantes en el organismo (OPS/OMS, 2025). Sin embargo, la biodisponibilidad varía entre compuestos y depende de factores como su estructura química, la matriz alimentaria en la que se encuentra y el procesamiento, lo cual influye en su digestión, absorción y transporte hacia tejidos diana (D'Archivio et al., 2010; Liu et al., 2024). Aunque el consumidor no puede modificar directamente estos factores, incrementar el consumo de alimentos ricos en antioxidantes puede aumentar la ingesta total de estos compuestos.

Adherencia y viabilidad.

A pesar de los beneficios potenciales de las modificaciones dietéticas, la aplicabilidad clínica depende de la adherencia. Una revisión sistemática enfocada en pacientes hipertensos reportó que la adherencia a largo plazo a cambios del estilo de vida puede ser baja (5 - 56%), influenciado por barreras económicas, falta de tiempo para preparar alimentos, baja aceptación de dietas recomendadas entre otros factores (Alanazi et al., 2025). De manera consistente una mayor adherencia a patrones saludables se asocia con menor riesgo de hipertensión en comparación con una menor adherencia (Theodoridis et al., 2023).

Confusores y cointervenciones.

La ingesta baja de potasio se ha asociado con mayor riesgo de hipertensión y aumentar su consumo podría ser beneficioso en poblaciones con una dieta baja en dicho mineral (Noh et al., 2015). Los cambios en la dieta pueden modificar la presión arterial, no solo por el consumo de antioxidantes en específico, sino también por otros nutrientes como el sodio y potasio (M. Li et al., 2020). Además el peso corporal y la pérdida de peso influyen de manera positiva en el control de la presión arterial, por lo que pueden confundir efectos atribuibles a los antioxidantes (Jones et al., 2025). Finalmente, actividad física, alcohol,

tabaquismo, calidad general de la dieta, edad y sexo son factores que pueden modificar los resultados.

CONCLUSIONES

En conclusión, la evidencia revisada sugiere que el estrés oxidativo y la disfunción endotelial son ejes centrales en la fisiopatología de la hipertensión arterial, y que diversos antioxidantes de origen alimentario, en particular los polifenoles, pueden contribuir a mejorar la biodisponibilidad de óxido nítrico, atenuar la producción de especies reactivas de oxígeno y modular vías vasoactivas como NOX, endotelina-1 y el sistema renina-angiotensina. No obstante, los resultados en presión arterial suelen ser modestos y variables, influenciados por la heterogeneidad de compuestos, dosis, biodisponibilidad, duración de las intervenciones, características poblacionales y confusores dietéticos (sodio/potasio, peso, actividad física). En conjunto, los hallazgos apoyan que los alimentos y patrones dietéticos ricos en antioxidantes podrían funcionar como estrategia coadyuvante en el manejo de la hipertensión, pero se requieren estudios clínicos mejor estandarizados y de mayor duración que definan con mayor precisión qué compuestos, dosis y contextos ofrecen beneficios clínicamente relevantes.

Financiamiento: El presente trabajo no obtuvo financiamiento del sector público o privado para su realización.

Contribuciones: Idea, C.A.S.C.; revisión de literatura (estado del arte), C.A.S.C., D.C.A. Y L.H.O.; metodología, C.A.S.C. Y L.H.O.; análisis de datos, C.A.S.C. Y D.C.A.; resultados, C.A.S.C., D.C.A. Y L.H.O.; discusión y conclusiones, C.A.S.C. Y L.H.O.; redacción del borrador original, C.A.S.C. Y D.C.A.; revisión, edición y corrección final del manuscrito, C.A.S.C., D.C.A. Y L.H.O.

REFERENCIAS.

- Abbasian, F., Alavi, M. S., & Roohbakhsh, A. (2023). Dietary carotenoids to improve hypertension. *Heliyon*, 9(9), e19399. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19399>
- Agudo, A., Cabrera, L., Amiano, P., Ardanaz, E., Barricarte, A., Berenguer, T., Chirlaque, M. D., Dorronsoro, M., Jakyszyn, P., Larrañaga, N.,

- Martínez, C., Navarro, C., Quirós, J. R., Sánchez, M. J., Tormo, M. J., & González, C. A. (2007). Fruit and vegetable intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: Findings from the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Spain)2. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(6), 1634-1642. <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.6.1634>
- Alanazi, Z., Alanazi, R., Alanazi, H., & Alanazi, J. (2025). A systematic review of adherence to lifestyle modifications by hypertensive patients. *Eastern Mediterranean Health Journal = La Revue De Sante De La Mediterranee Orientale = Al-Majallah Al-Sihhiyah Li-Sharq Al-Mutawassit*, 31(9 & 10), 590-596. <https://doi.org/10.26719/2025.31.10.590>
- Anter, E., Thomas, S. R., Schulz, E., Shapira, O. M., Vita, J. A., & Keaney, J. F. (2004). Activation of Endothelial Nitric-oxide Synthase by the p38 MAPK in Response to Black Tea Polyphenols *. *Journal of Biological Chemistry*, 279(45), 46637-46643. <https://doi.org/10.1074/jbc.M405547200>
- Bahonar, A., Saadatnia, M., Khorvash, F., Maracy, M., & Khosravi, A. (2017). Carotenoids as Potential Antioxidant Agents in Stroke Prevention: A Systematic Review. *International Journal of Preventive Medicine*, 8, 70. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_112_17
- Bjelakovic, G., Nikolova, D., Gluud, L. L., Simonetti, R. G., & Gluud, C. (2008). *Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007176>
- Campos-Nonato, I., Monterrubio-Flores, E., Ramírez-Villalobos, D., Arias-Mendoza, M. A., Gómez-Álvarez, E., Alcocer-Díaz-Barreiro, L., Basto-Abreu, A., Reyes-García, A., Medina-García, C., Hernández-Barrera, L., & Barquera, S. (2025). Hipertensión arterial en adultos y brechas de atención a nivel nacional y estatal, Ensanut 2021-2024. *Salud Publica De Mexico*, 67(6(nov-dic)), 633-643. <https://doi.org/10.21149/17102>
- Carr, A., & Frei, B. (1999). Does vitamin C act as a pro-oxidant under physiological conditions? *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 13(9), 1007-1024. <https://doi.org/10.1096/fasebj.13.9.1007>
- Chandimali, N., Bak, S. G., Park, E. H., Lim, H.-J., Won, Y.-S., Kim, E.-K., Park, S.-I., & Lee, S. J. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: A review. *Cell Death Discovery*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41420-024-02278-8>
- Chun, O. K., Floegel, A., Chung, S.-J., Chung, C. E., Song, W. O., & Koo, S. I. (2010). Estimation of Antioxidant Intakes from Diet and Supplements in U.S. Adults, . *The Journal of Nutrition*, 140(2), 317-324. <https://doi.org/10.3945/jn.109.114413>
- Czernichow, S., Bertrais, S., Blacher, J., Galan, P., Briançon, S., Favier, A., Safar, M., & Hercberg, S. (2005). Effect of supplementation with antioxidants upon long-term risk of hypertension in the SU.VI.MAX study: Association with plasma antioxidant levels. *Journal of Hypertension*, 23(11), 2013-2018. <https://doi.org/10.1097/01.hjh.0000187259.94448.8a>
- D'Archivio, M., Filesi, C., Vari, R., Scazzocchio, B., & Masella, R. (2010). Bioavailability of the Polyphenols: Status and Controversies. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), 1321-1342. <https://doi.org/10.3390/ijms11041321>
- Desch, S., Schmidt, J., Kobler, D., Sonnabend, M., Eitel, I., Sareban, M., Rahimi, K., Schuler, G., & Thiele, H. (2010). Effect of cocoa products on blood pressure: Systematic review and meta-analysis. *American Journal of Hypertension*, 23(1), 97-103. <https://doi.org/10.1038/ajh.2009.213>
- Doménech, M., Roman, P., Lapetra, J., García de la Corte, F. J., Sala-Vila, A., de la Torre, R., Corella, D., Salas-Salvadó, J., Ruiz-Gutiérrez, V., Lamuela-Raventós, R.-M., Toledo, E., Estruch, R., Coca, A., & Ros, E. (2014). Mediterranean diet reduces 24-hour ambulatory blood pressure, blood glucose, and lipids: One-year randomized, clinical trial. *Hypertension*, 64(1), 69-76. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.03353>
- Doménech, M., Serra-Mir, M., Roth, I., Freitas-Simoes, T., Valls-Pedret, C., Cofán, M., López, A., Sala-Vila, A., Calvo, C., Rajaram, S.,

- Sabaté, J., & Ros, E. (2019). Effect of a Walnut Diet on Office and 24-Hour Ambulatory Blood Pressure in Elderly Individuals. *Hypertension*, 73(5), 1049-1057. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.12766>
- Durand, M. J., & Gutterman, D. D. (2013). Diversity in mechanisms of endothelium-dependent vasodilation in health and disease. *Microcirculation*, 20(3), 239-247. <https://doi.org/10.1111/micc.12040>
- Elmarakby, A. A., Saad, K. M., Crislip, G. R., & Sullivan, J. C. (2023). Acute nitric oxide synthase inhibition induces greater increases in blood pressure in female versus male Wistar Kyoto rats. *Physiological Reports*, 11(15), e15771. <https://doi.org/10.14814/phy2.15771>
- Flieger, J., Flieger, W., Baj, J., & Maciejewski, R. (2021). Antioxidants: Classification, Natural Sources, Activity/Capacity Measurements, and Usefulness for the Synthesis of Nanoparticles. *Materials*, 14(15), 4135. <https://doi.org/10.3390/ma14154135>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. (2002). Chapter 7. Vitamin A. En *Human vitamin and mineral requirements: Report of a joint FAO/WHO expert consultation*. <https://www.fao.org/4/y2809e/y2809e0d.htm#bm13>
- Gajendragadkar, P. R., Hubsch, A., Mäki-Petäjä, K. M., Serg, M., Wilkinson, I. B., & Cheriyan, J. (2014). Effects of Oral Lycopene Supplementation on Vascular Function in Patients with Cardiovascular Disease and Healthy Volunteers: A Randomised Controlled Trial. *PLoS ONE*, 9(6), e99070. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099070>
- Galleano, M., Pechanova, O., & Fraga, C. G. (2010). Hypertension, nitric oxide, oxidants, and dietary plant polyphenols. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 837-848. <https://doi.org/10.2174/138920110793262114>
- Gebreyohannes, E. A., Bhagavathula, A. S., Abebe, T. B., Tefera, Y. G., & Abegaz, T. M. (2019). Adverse effects and non-adherence to antihypertensive medications in University of Gondar Comprehensive Specialized Hospital. *Clinical Hypertension*, 25(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40885-018-0104-6>
- G. Fraga, C., D. Croft, K., O. Kennedy, D., & A. Tomás-Barberán, F. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food & Function*, 10(2), 514-528. <https://doi.org/10.1039/C8FO01997E>
- Griendling, K. K., Minieri, C. A., Ollerenshaw, J. D., & Alexander, R. W. (1994). Angiotensin II stimulates NADH and NADPH oxidase activity in cultured vascular smooth muscle cells. *Circulation Research*, 74(6), 1141-1148. <https://doi.org/10.1161/01.res.74.6.1141>
- Guan, Y., Dai, P., & Wang, H. (2020). Effects of vitamin C supplementation on essential hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*, 99(8), e19274. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019274>
- Guerrero, L., Castillo, J., Quiñones, M., Garcia-Vallvé, S., Arola, L., Pujadas, G., & Muguerza, B. (2012). Inhibition of Angiotensin-Converting Enzyme Activity by Flavonoids: Structure-Activity Relationship Studies. *PLoS ONE*, 7(11), e49493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049493>
- Harrison, D. G., Coffman, T. M., & Wilcox, C. S. (2021). Pathophysiology of Hypertension. *Circulation Research*, 128(7), 847-863. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318082>
- Harrison, D. G., Gongora, M. C., Guzik, T. J., & Widder, J. (2007). Oxidative stress and hypertension. *Journal of the American Society of Hypertension*, 1(1), 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.jash.2006.11.006>
- Holden, J. M., Eldridge, A. L., Beecher, G. R., Marilyn Buzzard, I., Bhagwat, S., Davis, C. S., Douglass, L. W., Gebhardt, S., Haytowitz, D., & Schakel, S. (1999). Carotenoid Content of U.S. Foods: An Update of the Database. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12(3), 169-196. <https://doi.org/10.1006/jfca.1999.0827>
- Hool, L. C., & Corry, B. (2007). Redox control of calcium channels: From mechanisms to therapeutic opportunities. *Antioxidants & Redox Signaling*, 9(4), 409-435. <https://doi.org/10.1089/ars.2006.1446>
- Hosseinpour-Niazi, S., Hadaegh, F., Mirmiran, P., Daneshpour, M. S., Mahdavi, M., & Azizi, F. (2022). Effect of legumes in energy reduced dietary approaches to stop hypertension (DASH) diet on blood pressure among

- overweight and obese type 2 diabetic patients: A randomized controlled trial. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 14, 72. <https://doi.org/10.1186/s13098-022-00841-w>
- Hung, H.-C., Joshipura, K. J., Jiang, R., Hu, F. B., Hunter, D., Smith-Warner, S. A., Colditz, G. A., Rosner, B., Spiegelman, D., & Willett, W. C. (2004). Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of the National Cancer Institute*, 96(21), 1577-1584. <https://doi.org/10.1093/jnci/djh296>
- Islam, M., & Gracia, F. (2013). Los Antioxidantes para la Salud Óptima. *Revista Médico Científica*, 26(2). <https://www.revistamedicocientifica.org/index.php/rmc/article/view/371>
- Jimenez, R., Lopez-Sepulveda, R., Romero, M., Toral, M., Cogolludo, A., Perez-Vizcaino, F., & Duarte, J. (2015). Quercetin and its metabolites inhibit the membrane NADPH oxidase activity in vascular smooth muscle cells from normotensive and spontaneously hypertensive rats. *Food & Function*, 6(2), 409-414. <https://doi.org/10.1039/c4fo00818a>
- Jones, D. W., Ferdinand, K. C., Taler, S. J., Johnson, H. M., Shimbo, D., Abdalla, M., Altieri, M. M., Bansal, N., Bello, N. A., Bress, A. P., Carter, J., Cohen, J. B., Collins, K. J., Commodore-Mensah, Y., Davis, L. L., Egan, B., Lloyd-Jones, D. M., Melnyk, B. M., Mistry, E. A., ... Williamson, J. D. (2025). 2025 AHA/ACC/AANP/AAPA/ABC/ACCP/ACPM/AGS/AMA/ASPC/NMA/PCNA/SGIM Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 152(11). <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001356>
- Kaulmann, A., & Bohn, T. (2014). Carotenoids, inflammation, and oxidative stress—Implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. *Nutrition Research*, 34(11), 907-929. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2014.07.010>
- Kimura, S., Zhang, G.-X., Nishiyama, A., Shokoji, T., Yao, L., Fan, Y.-Y., Rahman, M., & Abe, Y. (2005). Mitochondria-Derived Reactive Oxygen Species and Vascular MAP Kinases. *Hypertension*, 45(3), 438-444. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000157169.27818.ae>
- Kintscher, U. (2013). The burden of hypertension. *EuroIntervention: Journal of EuroPCR in Collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*, 9 Suppl R, R12-15. <https://doi.org/10.4244/EIJV9SRA3>
- Laursen, J. B., Somers, M., Kurz, S., McCann, L., Warnholtz, A., Freeman, B. A., Tarpey, M., Fukai, T., & Harrison, D. G. (2001). Endothelial regulation of vasomotion in apoE-deficient mice: Implications for interactions between peroxynitrite and tetrahydrobiopterin. *Circulation*, 103(9), 1282-1288. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.9.1282>
- Lei, L., Hui, S., Chen, Y., Yan, H., Yang, J., & Tong, S. (2024). Effect of soy isoflavone supplementation on blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition Journal*, 23, 32. <https://doi.org/10.1186/s12937-024-00932-6>
- Leikert, J. F., Räthel, T. R., Wohlfart, P., Cheynier, V., Vollmar, A. M., & Dirsch, V. M. (2002). Red Wine Polyphenols Enhance Endothelial Nitric Oxide Synthase Expression and Subsequent Nitric Oxide Release From Endothelial Cells. *Circulation*, 106(13), 1614-1617. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000034445.31543.43>
- Li, L., Feng, D., Luo, Z., Welch, W. J., Wilcox, C. S., & Lai, E. Y. (2015). Remodeling of Afferent Arterioles From Mice With Oxidative Stress Does Not Account for Increased Contractility but Does Limit Excessive Wall Stress. *Hypertension*, 66(3), 550-556. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.115.05631>
- Li, M., Yan, S., Li, X., Jiang, S., Ma, X., Zhao, H., Li, J., Sun, C., Jin, L., Yao, Y., & Li, B. (2020). Association between blood pressure and dietary intakes of sodium and potassium among US adults using quantile regression analysis NHANES 2007-2014. *Journal of Human Hypertension*, 34(5), 346-354. <https://doi.org/10.1038/s41371-019-0224-9>
- Li, Q., Youn, J.-Y., & Cai, H. (2015). Mechanisms and consequences of endothelial nitric oxide synthase dysfunction in hypertension. *Journal of Hypertension*, 33(6), 1128-1136.

- <https://doi.org/10.1097/HJH.00000000000000587>
- Liu, Y., Deng, J., Zhao, T., Yang, X., Zhang, J., & Yang, H. (2024). Bioavailability and mechanisms of dietary polyphenols affected by non-thermal processing technology in fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, 8, 100715. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100715>
- Lopez-Miranda Gonzalez, V., & Aleixandre de Artiñano, A. (1999). Endothelial dysfunction and hypertensive vasoconstriction. *Pharmacological Research*, 40(2), 113-124. <https://doi.org/10.1006/phrs.1999.0481>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
- Martínez-Fernández, L., Pons, Z., Margalef, M., Arola-Arnal, A., & Muguerza, B. (2015). Regulation of vascular endothelial genes by dietary flavonoids: Structure-expression relationship studies and the role of the transcription factor KLF-2. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 26(3), 277-284. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.11.003>
- Młynarska, E., Biskup, L., Możdżan, M., Grygorcewicz, O., Możdżan, Z., Semeradt, J., Uramowski, M., Rysz, J., & Franczyk, B. (2024). The Role of Oxidative Stress in Hypertension: The Insight into Antihypertensive Properties of Vitamins A, C and E. *Antioxidants*, 13(7), 848. <https://doi.org/10.3390/antiox13070848>
- Murphy, M. P., Bayir, H., Belousov, V., Chang, C. J., Davies, K. J. A., Davies, M. J., Dick, T. P., Finkel, T., Forman, H. J., Janssen-Heininger, Y., Gems, D., Kagan, V. E., Kalyanaraman, B., Larsson, N.-G., Milne, G. L., Nyström, T., Poulsen, H. E., Radi, R., Van Remmen, H., ... Halliwell, B. (2022). Guidelines for measuring reactive oxygen species and oxidative damage in cells and in vivo. *Nature Metabolism*, 4(6), 651-662. <https://doi.org/10.1038/s42255-022-00591-z>
- Noh, H.-M., Park, S.-Y., Lee, H.-S., Oh, H.-Y., Paek, Y. J., Song, H. J., & Park, K. H. (2015). Association between High Blood Pressure and Intakes of Sodium and Potassium among Korean Adults: Korean National Health and Nutrition Examination Survey, 2007-2012. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115(12), 1950-1957. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.04.021>
- O'Byrne, D., Grundy, S., Packer, L., Devaraj, S., Baldenius, K., Hoppe, P. P., Kraemer, K., Jialal, I., & Traber, M. G. (2000). Studies of LDL oxidation following alpha-, gamma-, or delta-tocotrienyl acetate supplementation of hypercholesterolemic humans. *Free Radical Biology & Medicine*, 29(9), 834-845. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(00\)00371-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(00)00371-3)
- Office of Dietary Supplements, National Institutes of Health. (2021). *Vitamin C: Fact sheet for health professionals*. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/>
- Olędzki, R. (2025). Polyphenolic Compounds in the Prevention and Treatment of Hypertension: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(21). <https://doi.org/10.3390/ijms262110665>
- OPS/OMS. (2025). *Hipertensión—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. [https://www.paho.org/en/enlace/hypOrganizaci3n Panamericana de la Salud. \(2025\). Alimentaci3n saludable. https://www.paho.org/es/temas/alimentacion-saludableertension](https://www.paho.org/en/enlace/hypOrganizaci3n%20Panamericana%20de%20la%20Salud.%20(2025).%20Alimentaci3n%20saludable.%20https://www.paho.org/es/temas/alimentacion-saludableertension)
- Organización Mundial de la Salud. (2025). *Hipertensión*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>
- Organización Mundial de la Salud (s.f.). (s.f.). *Hypertension*. Recuperado 26 de febrero de 2026, de <https://www.who.int/health-topics/hypertension>
- Palmer, R. M. J., Rees, D. D., Ashton, D. S., & Moncada, S. (1988). L-arginine is the physiological precursor for the formation of nitric oxide in endothelium-dependent relaxation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 153(3), 1251-1256. [https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(88\)81362-7](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(88)81362-7)
- Parker, R. S., Swanson, J. E., You, C. S., Edwards, A. J., & Huang, T. (1999). Bioavailability of

- carotenoids in human subjects. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 58(1), 155-162. <https://doi.org/10.1079/pns19990021>
- Pavlov, T. S., & Staruschenko, A. (2017). Involvement of ENaC in the development of salt-sensitive hypertension. *American Journal of Physiology. Renal Physiology*, 313(2), F135-F140. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00427.2016>
- Pearson, J. F., Pullar, J. M., Wilson, R., Spittlehouse, J. K., Vissers, M. C. M., Skidmore, P. M. L., Willis, J., Cameron, V. A., & Carr, A. C. (2017). Vitamin C Status Correlates with Markers of Metabolic and Cognitive Health in 50-Year-Olds: Findings of the CHALICE Cohort Study. *Nutrients*, 9(8), 831. <https://doi.org/10.3390/nu9080831>
- Pennington, J. A. T., & Young, B. (1990). Iron, zinc, copper, manganese, selenium, and iodine in foods from the United States total diet study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3(2), 166-184. [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(90\)90022-E](https://doi.org/10.1016/0889-1575(90)90022-E)
- Pourrajab, B., Harijani, A. M., Asghari, P., & Shidfar, F. (2025). Effect of the Mediterranean diet supplemented with olive oil versus the Mediterranean diet supplemented with mixed nuts on blood pressure and serum lipid indexes among adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 35(11). <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2025.104166>
- Qi, S., Luo, X., Liu, S., Ling, B., Si, M., & Jin, H. (2024). Effect of vitamin B2, vitamin C, vitamin D, vitamin E and folic acid in adults with essential hypertension: A systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open*, 14(1), e074511. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-074511>
- Rajagopalan, S., Kurz, S., Münzel, T., Tarpey, M., Freeman, B. A., Griendling, K. K., & Harrison, D. G. (1996). Angiotensin II-mediated hypertension in the rat increases vascular superoxide production via membrane NADH/NADPH oxidase activation. Contribution to alterations of vasomotor tone. *The Journal of Clinical Investigation*, 97(8), 1916-1923. <https://doi.org/10.1172/JCI118623>
- Rajendran, P., Rengarajan, T., Thangavel, J., Nishigaki, Y., Sakthisekaran, D., Sethi, G., & Nishigaki, I. (2013). The vascular endothelium and human diseases. *International Journal of Biological Sciences*, 9(10), 1057-1069. <https://doi.org/10.7150/ijbs.7502>
- Rao, S. V., O'Donoghue, M. L., Ruel, M., Rab, T., Tamis-Holland, J. E., Alexander, J. H., Baber, U., Baker, H., Cohen, M. G., Cruz-Ruiz, M., Davis, L. L., de Lemos, J. A., DeWald, T. A., Elgendy, I. Y., Feldman, D. N., Goyal, A., Isiadinso, I., Menon, V., Morrow, D. A., ... Williams, M. S. (2025). 2025 ACC/AHA/ACEP/NAEMSP/SCAI Guideline for the Management of Patients With Acute Coronary Syndromes: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 151(13), e771-e862. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001309>
- Ried, K., Frank, O. R., & Stocks, N. P. (2009). Dark chocolate or tomato extract for prehypertension: A randomised controlled trial. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 9, 22. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-9-22>
- Rodrigo, R., González, J., & Paoletto, F. (2011). The role of oxidative stress in the pathophysiology of hypertension. *Hypertension Research: Official Journal of the Japanese Society of Hypertension*, 34(4), 431-440. <https://doi.org/10.1038/hr.2010.264>
- Romero, M., Jiménez, R., Sánchez, M., López-Sepúlveda, R., Zarzuelo, M. J., O'Valle, F., Zarzuelo, A., Pérez-Vizcaíno, F., & Duarte, J. (2009). Quercetin inhibits vascular superoxide production induced by endothelin-1: Role of NADPH oxidase, uncoupled eNOS and PKC. *Atherosclerosis*, 202(1), 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2008.03.007>
- Rongpan, S., Pocasap, P., Iampanichakul, M., Tong-Un, T., Maneesai, P., Kittipreeya, P., Prachaney, P., & Pakdeechote, P. (2025). Luteolin restores the renin-angiotensin system to alleviate blood pressure and cardiac changes in secondary hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*, 134, 107075. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.107075>
- S, S., Hegde, S. V., Agarwal, S. V., NS, D., Pillai, A., Shah, S. N., & S, R. (2024). Biomarkers of

- Oxidative Stress and Their Clinical Relevance in Type 2 Diabetes Mellitus Patients: A Systematic Review. *Cureus*, 16(8), e66570. <https://doi.org/10.7759/cureus.66570>
- Sen, C. K., Khanna, S., & Roy, S. (2006). Tocotrienols: Vitamin E Beyond Tocopherols. *Life sciences*, 78(18), 2088-2098. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.12.001>
- Serban, M.-C., Sahebkar, A., Zanchetti, A., Mikhailidis, D. P., Howard, G., Antal, D., Andrica, F., Ahmed, A., Aronow, W. S., Muntner, P., Lip, G. Y. H., Graham, I., Wong, N., Rysz, J., Banach, M., & Lipid and Blood Pressure Meta-analysis Collaboration (LBPMC) Group. (2016). Effects of Quercetin on Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of the American Heart Association*, 5(7), e002713. <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002713>
- Somers, M. J., Mavromatis, K., Galis, Z. S., & Harrison, D. G. (2000). Vascular superoxide production and vasomotor function in hypertension induced by deoxycorticosterone acetate-salt. *Circulation*, 101(14), 1722-1728. <https://doi.org/10.1161/01.cir.101.14.1722>
- Su, J., Xu, H.-T., Yu, J.-J., Gao, J.-L., Lei, J., Yin, Q.-S., Li, B., Pang, M.-X., Su, M.-X., Mi, W.-J., Chen, S.-H., & Lv, G.-Y. (2015). Luteolin Ameliorates Hypertensive Vascular Remodeling through Inhibiting the Proliferation and Migration of Vascular Smooth Muscle Cells. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2015, 364876. <https://doi.org/10.1155/2015/364876>
- Sun, M., & Johnson, M. A. (2015). Measurement of total antioxidant capacity in sub-μL blood samples using craft paper-based analytical devices. *RSC Advances*, 5(69), 55633-55639. <https://doi.org/10.1039/C5RA06479A>
- Theodoridis, X., Chourdakis, M., Chrysoula, L., Chroni, V., Tirodimos, I., Dipla, K., Gkaliagkousi, E., & Triantafyllou, A. (2023). Adherence to the DASH Diet and Risk of Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(14), 3261. <https://doi.org/10.3390/nu15143261>
- Tindall, A. M., Petersen, K. S., Skulas-Ray, A. C., Richter, C. K., Proctor, D. N., & Kris-Etherton, P. M. (2019). Replacing Saturated Fat With Walnuts or Vegetable Oils Improves Central Blood Pressure and Serum Lipids in Adults at U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2019). *FoodData Central*. <https://fdc.nal.usda.gov/>
- Risk for Cardiovascular Disease: A Randomized Controlled-Feeding Trial. *Journal of the American Heart Association: Cardiovascular and Cerebrovascular Disease*, 8(9), e011512. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011512>
- Valero Zanuy, M. Á. (2013). Nutrición e hipertensión arterial. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, 30(1), 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.hipert.2012.09.004>
- Valls, R. M., Pedret, A., Calderón-Pérez, L., Llauroadó, E., Pla-Pagà, L., Companys, J., Moragas, A., Martín-Luján, F., Ortega, Y., Giral, M., Romeu, M., Rubió, L., Mayneris-Perxachs, J., Canela, N., Puiggrós, F., Caimari, A., Del Bas, J. M., Arola, L., & Solà, R. (2021). Effects of hesperidin in orange juice on blood and pulse pressures in mildly hypertensive individuals: A randomized controlled trial (Citrus study). *European Journal of Nutrition*, 60(3), 1277-1288. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02279-0>
- Vanhoutte, P. M. (1996). Endothelial dysfunction in hypertension. *Journal of Hypertension. Supplement: Official Journal of the International Society of Hypertension*, 14(5), S83-93.
- Vanhoutte, P. M., Feletou, M., & Taddei, S. (2005). Endothelium-dependent contractions in hypertension. *British Journal of Pharmacology*, 144(4), 449-458. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0706042>
- Vendrame, S., Adekeye, T. E., & Klimis-Zacas, D. (2022). The Role of Berry Consumption on Blood Pressure Regulation and Hypertension: An Overview of the Clinical Evidence. *Nutrients*, 14(13), 2701. <https://doi.org/10.3390/nu14132701>
- Widjaja-Adhi, M. A. K., & Golczak, M. (2020). The molecular aspects of absorption and metabolism of carotenoids and retinoids in vertebrates. *Biochimica et biophysica acta. Molecular and cell biology of lipids*, 1865(11), 158571. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2019.158571>
- Wolak, T., & Paran, E. (2013). Can carotenoids attenuate vascular aging? *Vascular Pharmacology*, 59(3-4), 63-66.

- <https://doi.org/10.1016/j.vph.2013.07.006>
Wołonciej, M., Milewska, E., & Roszkowska-Jakimiec, W. (2016). Trace elements as an activator of antioxidant enzymes. *Postepy Higieny I Medycyny Doswiadczałnej (Online)*, 70(0), 1483-1498.
<https://doi.org/10.5604/17322693.1229074>
- Wu, J., Saleh, M. A., Kirabo, A., Itani, H. A., Montaniel, K. R. C., Xiao, L., Chen, W., Mernaugh, R. L., Cai, H., Bernstein, K. E., Goronzy, J. J., Weyand, C. M., Curci, J. A., Barbaro, N. R., Moreno, H., Davies, S. S., Roberts, L. J., Madhur, M. S., & Harrison, D. G. (2016). Immune activation caused by vascular oxidation promotes fibrosis and hypertension. *The Journal of Clinical Investigation*, 126(1), 50-67. <https://doi.org/10.1172/JCI80761>
- Yamagata, K. (2019). Polyphenols Regulate Endothelial Functions and Reduce the Risk of Cardiovascular Disease. *Current Pharmaceutical Design*, 25(22), 2443-2458.
<https://doi.org/10.2174/1381612825666190722100504>
- Yang, W., & Xu, H. (2016). Industrial Fermentation of Vitamin C. En *Industrial biotechnology of vitamins, biopigments and antioxidant*. (First, Vol. 7, pp. 161-192).
<https://doi.org/10.1002/9783527681754.ch7>
(Obra original publicada en Erick J. Vandamme and José L.)
- Yoshioka, J., Schreiter, E. R., & Lee, R. T. (2006). Role of thioredoxin in cell growth through interactions with signaling molecules. *Antioxidants & Redox Signaling*, 8(11-12), 2143-2151.
<https://doi.org/10.1089/ars.2006.8.2143>
- Zhao, Y., Wang, J., Ballevre, O., Luo, H., & Zhang, W. (2012). Antihypertensive effects and mechanisms of chlorogenic acids. *Hypertension Research*, 35(4), 370-374.
<https://doi.org/10.1038/hr.2011.195>