

## Curcumina en la bioquímica del síndrome metabólico: Una revisión bibliográfica.

### *Curcumin in the biochemistry of metabolic syndrome: A literature review.*

Wilmer Antonio Díaz-Basauri<sup>2,b</sup>, Tania Lucía Díaz-Navarro<sup>2,b</sup>, Javier Osiel David Cusma-Lovato<sup>2,b</sup>, Angie Jimena Cueva-Flores<sup>2,b</sup>, Luis Angel Espejo-Atoche<sup>2,b</sup>, Milton Braisman Delgado-Irigoin<sup>2,b</sup>, Oriana Lizeth Cruzado-Quiliche<sup>2,b</sup>, William Martín Gil-Reyes<sup>1,a</sup>.

#### Filiación:

- 1 Hospital Regional de Trujillo. La Libertad, Perú.
- 2 Departamento Académico de Ciencias Básicas Médicas-Bioquímica. Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Trujillo. La Libertad, Perú.
- a Médico Cirujano, Magister en Gestión de los Servicios de Salud.
- b Estudiante de Medicina.

#### ORCID:

- Wilmer Díaz Basauri: <https://orcid.org/0000-0003-1543-5771>
- Tania Díaz Navarro: <https://orcid.org/0000-0003-1177-2084>
- Javier Cusma Lovato: <https://orcid.org/0000-0001-6183-6088>
- Angie Cueva Flores: <https://orcid.org/0009-0000-1248-4127>
- Luis Espejo Atoche: <https://orcid.org/0000-0001-9838-8020>
- Milton Delgado Irigoin: <https://orcid.org/0000-0002-9465-6873>
- Oriana Cruzado Quiliche: <https://orcid.org/0000-0003-2870-4862>
- William Gil Reyes: <https://orcid.org/0000-0002-0823-2290>

#### Correspondencia:

Wilmer Antonio Díaz Basauri.

✉ wdiazb@unitru.edu.pe

#### Conflictos de Interés:

Los autores declaran no presentar conflictos de interés.

#### Financiamiento:

El estudio ha sido financiado por los autores.

#### Revisión de Pares:

Recibido: 09-06-2024

Aceptado: 09-08-2025

#### Citar como:

Díaz-Basauri W, Díaz-Navarro T, Cusma-Lovato J, Cueva-Flores A, Espejo-Atoche L, Delgado-Irigoin M, Cruzado-Quiliche O, Gil-Reyes W. Curcumina en la bioquímica del síndrome metabólico: Una revisión bibliográfica. Rev méd Trujillo. 2025;20(3):127-131.

DOI: <https://doi.org/10.17268/rmt.2025.v20i3.7002>



2025. Publicado por Facultad de Medicina, UNT.

Este es un artículo de libre acceso, bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rmt>

OJS: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RMT/>

#### RESUMEN

El síndrome metabólico ha venido desarrollándose a lo largo de los años afectando a un porcentaje significativo de la población, aumentando así las probabilidades de desarrollar patologías más severas. Ante esta situación, la curcumina, un compuesto perteneciente a la cúrcuma, sobresale por sus beneficios a la salud contrarrestando los efectos del síndrome metabólico mediante la regulación de enzimas clave en vías bioquímicas relacionadas, tales como la glucólisis, lipólisis, lipogénesis, entre otras; así como también, con la reducción del estrés oxidativo e inflamación. En conjunto, estos beneficios a largo plazo reducen o invierten el progreso del síndrome metabólico hacia una afección más grave. Múltiples estudios, incluyendo estudios clínicos aleatorizados y otras revisiones bibliográficas, comprobaron la eficacia de la curcumina ante distintas alteraciones teniendo resultados positivos. Además, investigaciones recientes, incluyendo estudios clínicos en humanos y animales, han demostrado que la curcumina no es tóxica, ya que incluso a altas dosis no produce alteraciones significativas; por el contrario, aporta beneficios al estilo de vida humano. Si bien se necesitan más estudios para comprender mejor todos los efectos de la curcumina, aún así es prometedora como agente quimiopreventivo frente al desarrollo del síndrome metabólico y sus secuelas, con tal de integrar la curcumina y sus derivados como parte de los componentes de futuros medicamentos o tratamientos en distintas enfermedades, especialmente el síndrome metabólico.

**Palabras Clave:** Curcumina, Síndrome metabólico, Bioquímica, Metabolismo de los lípidos, Metabolismo de los carbohidratos. (Fuente: DeCS BIREME).

#### SUMMARY

Metabolic syndrome has been developing over the years, affecting a significant percentage of the population, thus increasing the probability of developing more severe pathologies. In this situation, curcumin, a compound belonging to turmeric, stands out for its health benefits, by counteracting the effects of metabolic syndrome by regulating key enzymes in related biochemical pathways, such as glycolysis, lipolysis, lipogenesis, among others; as well as, with the reduction of oxidative stress and inflammation. Together, these long-term benefits reduce or reverse the progress of metabolic syndrome towards a more serious condition. Multiple studies, including randomized clinical studies and other bibliographic reviews, have verified the effectiveness of curcumin against different alterations, having positive results. Furthermore, recent research, including clinical studies in humans and animals, have shown that curcumin is not toxic, since even at high doses it does not produce significant alterations. On the contrary, brings benefits to the human lifestyle. While more studies are needed to better understand the full effects of curcumin. Even so, it is promising as a chemopreventive agent against the development of metabolic syndrome and its sequelae, as long as, curcumin and its derivatives are integrated as part of the components of future medications or treatments in different diseases, especially metabolic syn.

**Key words:** Curcumin, Metabolic syndrome, Biochemistry, Lipid metabolism, Carbohydrate metabolism. (Source: MeSH).

## INTRODUCCIÓN

El síndrome metabólico (MetS) o síndrome de resistencia a la insulina es un grupo de factores de riesgo cardiometabólicos que se caracteriza por anomalías metabólicas como hipertensión, obesidad central, resistencia a la insulina y dislipidemia [1,2]. Los factores genéticos, epigenéticos, ambientales y un mal estilo de vida, comer en exceso y la falta de actividad física, son los principales contribuyentes al desarrollo de este síndrome [2].

Según la tercera encuesta National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) informó que la prevalencia de síndrome metabólico era de 22.8 % en hombres y 22.6 % en mujeres, donde influyeron los factores previamente mencionados [4]. Otro estudio concluyó que el MetS tiene una mayor prevalencia en la edad adulta joven que no tiene estilos de vida saludables [5]. Una falta de conciencia en el mal estado de salud y el fácil abandono al tratamiento del paciente desencadenan patologías diabéticas e incluso cardiovasculares [6].

La suplementación con curcumina, un polifenol presente en la planta cúrcuma longa, ha demostrado tener efectos terapéuticos en pacientes MetS [7]. Este compuesto posee propiedades beneficiosas para la salud siendo antioxidante, antimicrobiano y antiinflamatorio [8].

Varios estudios determinan que la curcumina mejora la sensibilidad a la insulina, reduce la generación de tejido adiposo o grasa y disminuye el riesgo cardiovascular [9,10]. Entre ellos, Ceja Galicia et al. [11] demostraron que la curcumina posee efectos favorables sobre la hipertrigliceridemia, así mismo, Sangouni et al. [12], concluyeron que la curcumina mejora el perfil lipídico en pacientes con Diabetes Mellitus tipo II; de igual forma, Mariana Rosa y Daniela Canuto [13], concluyeron que la suplementación con curcumina reduce los niveles séricos de triglicéridos y LDL-c, además de aumentar los niveles de HDL-c; entre otros beneficios, Jing Li et al. [14] demostraron que la curcumina es capaz de atenuar el estrés oxidativo en células de los islotes pancreáticos. Según el estudio de Córdor Huamán et al. [15] no se encontraron efectos tóxicos en el uso de la curcumina.

El MetS afecta gran parte de la población, por lo que se necesitan nuevos y eficaces tratamientos con mínimos efectos secundarios para un control exitoso, con este fin, la curcumina ha despertado un gran interés debido a sus múltiples propiedades. En este contexto, la presente revisión bibliográfica busca explorar exhaustivamente la literatura científica para una mejor comprensión de los mecanismos bioquímicos subyacentes y el potencial terapéutico. De esta manera, se motivaría una inclusión más activa de la curcumina en la dieta diaria de las personas, tengan o no el MetS, evitando la generación de patologías más graves.

## METODOLOGÍA

Este estudio es de tipo revisión sistemática, diseñado para el análisis y síntesis de información recolectada al realizar una búsqueda orientada a los principales motores de búsqueda, siendo estas 4 bases de datos: Pubmed, Science Direct, Scopus y Redalyc; y fuentes externas, indexadas por revistas y plataformas de relevancia científica para la investigación. Se empleó los siguientes términos de búsqueda: "Curcumina", "Síndrome metabólico", "Bioquímica", "Metabolismo de los lípidos", "Metabolismo de los carbohidratos". Se involucraron artículos tanto en inglés como en español; priorizando el uso de artículos realizados en los últimos 5 años. Sin embargo, desde hace décadas, el síndrome metabólico y las vías metabólicas asociadas han

sido objeto de diferentes investigaciones, por lo que fue necesario hacer uso de algunos artículos de publicaciones realizadas en los últimos 9 años.

Se recopiló un total de 33 artículos de las bases de datos ya mencionadas, los cuales se analizaron de forma crítica, tomando los datos de mayor relevancia para el estudio, organizando la información de forma temática para una mejor distribución de relevancia y entendimiento de la evidencia previa, permitiendo generar una base sólida que conteste nuestra interrogante y respalda nuestra hipótesis. Revisamos la evidencia sobre el potencial terapéutico de la curcumina, procedentes de estudios in vitro, modelos animales y ensayos clínicos en humanos..

## CONTENIDO

### El síndrome metabólico abarca una amplia gama de alteraciones en el metabolismo.

El síndrome metabólico (MetS) es un complejo conjunto de trastornos que aumenta la probabilidad de derivar en otras enfermedades de aspecto crónico. Este síndrome incluye elevación del azúcar en sangre, presión alta, aumento de colesterol o triglicéridos, entre otras alteraciones relacionadas; las cuales aumentan en gran medida la probabilidad de desarrollar desde: diabetes mellitus tipo 2, hipertensión, arteriosclerosis; hasta accidentes cardiovasculares o derrame cerebral [6].

### La curcumina, un agente bioactivo proveniente de la cúrcuma.

La cúrcuma, una especia en la cual se han identificado alrededor de unos 235 compuestos, en esencia fenólicos y terpenoides, posee moléculas de relevancia médica en su descomposición; así como otros compuestos, que se pueden clasificar de forma general por su estructura [16].

La curcumina, de nomenclatura 1,7-bis-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona, es un diarilheptanoide de naturaleza anfipática, polar en su región central, posee un esqueleto hidroxycarbonado dicetonico y grupos funcionales, con presencia de dos restos arilo, hidroxi u oxo sustituidos unidos entre sí a través de una cadena carbonada de 7 átomos que posee una función 1,3-dicarbonílica y diferentes insaturaciones [17].

Entre sus propiedades, se suele encontrar como lipófila, sin embargo, no se comprueba del todo ello, por encontrarse mayor solubilidad en ácido heptanoico que en heptano. Por otro lado, una de sus características más resaltantes, es la tautomería ceto-enólica, el cual depende del grupo carbonilo enolizado, encontrándose el ceto-enol 1b como forma predominante en disoluciones acuosas, disolventes orgánicos, y en especial en disolventes próticos polares; así como predominancia de forma enol en solventes apolares [17].

### Propiedades y derivados de la curcumina.

Para el estudio de las propiedades químicas y fisiológicas de la curcumina, se ha visto de suma importancia, una de sus propiedades, la cual consiste en una alta sensibilidad a su entorno como a sus grupos funcionales, con un elevado grado de degradación bajo ciertas condiciones, por lo que su estructura se mantiene a un neutro y temperatura ambiente, con una pérdida de la molécula en unos 20 min, reduciéndose a la mitad con una temperatura de 37° (Temperatura fisiológica) [17,18].

En los diferentes estudios realizados a la curcumina sobre los componentes que la degradan, se ha encontrado el fotorreactivo, referido a su degradación por acción de la luz en un 5% de su material; por otro lado, la solvólisis, un tipo de

tampón alcalino, puede degradar la molécula hasta en un 90% en unos 30min a través de un producto intermedio (biciclopentanodiona), la cual promueve su autooxidación y posterior degradación oxidativa independiente de la luz [18].

Los productos encontrados a nivel de la degradación del compuesto, fueron la vainillina, ácido felúrico y feruloilmetano, los cuales difieren en abundancia de acuerdo al medio y temperatura generados, así, en estudios realizados, se encontraron formados en sangre humana [18].

Otros estudios han encontrados productos adicionales a los anteriormente mencionados, que se consideran como intermediarios de la formación de la biciclopentanodiona y los demás productos formados a partir de ésta [18].

Este comportamiento químico característico, se considera como un punto fundamental para las propiedades medicinales y farmacológicas que se le atribuyen a la curcumina, permitiendo realizar interacciones relevantes con factores de transcripción, proteínas, citocinas y mediadores inflamatorios, brindando así su efecto protector, homeostático y preventivo [17,19].

### ¿Cómo se metaboliza la curcumina?

La curcumina se metaboliza principalmente por reducción y conjugación después de la administración oral. Es así que de la reducción consecutiva de los dobles enlaces en la cadena de heptadienodiona se obtiene como resultado la formación de di, tetra, hexa y octahidrocurcumina [20].

La curcumina se puede conjugar con la fracción sulfato mediante la sulfotransferasa y el sulfato de curcumina se puede convertir en curcumina mediante enzimas reductasas. La UDP-glucuronosil transferasa puede transferir la fracción glucuronol a curcumina y la  $\beta$ -glucuronidasa puede convertir curcumina-glucurónido en curcumina [21].

Después de la absorción sistémica, la enzima alcohol deshidrogenasa reduce esta curcumina a tetra y hexahidrocurcumina en el hígado, mientras que la formación de di y octahidrocurcumina requiere la acción de una enzima microsomal aun no identificada. Los metabolitos reducidos, especialmente la tetra y hexahidrocurcumina, representan la mayor parte de los metabolitos de la curcumina [21]. Los cuales, pese a su gran capacidad antioxidante [22,23], algunas de sus actividades biológicas se encuentran reducidas en comparación con las de la curcumina [24].

### Efecto hipoglucemiante de la curcumina.

La insulina en el hígado reduce la gluconeogénesis al disminuir la expresión fundamentalmente de la glucosa-6-fosfatasa y de la fosfoenolpiruvato carboxilasa, disminuyendo la liberación de glucosa a la sangre [25].

Estudios realizados con la curcumina demostraron que tiene la capacidad de modular la expresión genética y aumentar la translocación de GLUT4, la cual se había visto inhibida en pacientes con MetS [26].

### La curcumina, un agente lipolítico importante.

La curcumina se ha relacionado con la capacidad de reducir los niveles de lípidos. El efecto de la curcumina sobre la dislipidemia ha sido ampliamente evaluado en modelos de diabetes y obesidad, demostrando su efecto beneficioso y corrector. En estos modelos, la curcumina disminuye las concentraciones séricas y hepáticas de Triglicéridos (TG), Colesterol (CH), ácidos grasos libres (AGL) y LDL. También aumenta las concentraciones séricas de HDL y la actividad

de diversas lipasas que promueven la entrada de lípidos en los tejidos [11].

La curcumina aumenta el sistema de transporte de electrones (ETS, por sus siglas en inglés) y la  $\beta$ -oxidación en el riñón. También disminuye la síntesis de ácidos grasos (AG) en el riñón y el hígado; estos procesos podrían prevenir la acumulación de lípidos y, en consecuencia, la liberación de cantidades significativas de AG al torrente sanguíneo. Además, disminuye la CD36 en el riñón y el hígado, lo que disminuye la absorción de AG y la lipogénesis en el hígado. Esto podría prevenir la formación de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) en el hígado, lo que se reflejó en sus concentraciones en el torrente sanguíneo que disminuyeron con la curcumina. Mejora la función mitocondrial, previniendo la acumulación de lípidos en el riñón, el hígado y el torrente sanguíneo y evitando el estrés oxidativo y la lesión tisular [11].

### Curcumina y la homeóstasis metabólica.

En diversos estudios se ha demostrado que la suplementación de curcumina en la dieta, puede mejorar los niveles séricos de adiponectina y una reducción de las concentraciones séricas de leptina en pacientes con síndrome metabólico. La relación leptina/adiponectina sérica mejora con la curcumina [27].

El tejido adiposo visceral, mediante sus funciones endocrinas libera diferentes tipos de citocinas llamadas adipocinas (leptina, adiponectina, resistina) en especial la adiponectina, así como algunos mediadores proinflamatorios, incluyendo IL-6. TNF- $\alpha$  y MCP-1. El TNF- $\alpha$  se encuentra en niveles elevados en cuadro de obesidad, por otro lado, este factor contribuye a la resistencia a la insulina [28].

La curcumina interactúa directamente con ciclooxigenasa, factor de necrosis tumoral alfa (TNF $\alpha$ ), la proteína de diferenciación mielóide (MDP), lipoxigenasa, factor nuclear kappa de las células B activadas (NF- $\kappa$ B)

La curcumina, al interactuar directamente con el tejido adiposo, inhibe la infiltración de macrófagos y la activación del NF- $\kappa$ B provocada por mediadores proinflamatorios, regulando la expresión de agentes y estimula la producción de adiponectina. Además, retrasa el proceso de diferenciación de los preadipocitos, lo que impide la formación de adipocitos completamente desarrollados, regulando así la síntesis de leptina. La leptina es una hormona que interactúa con el hipotálamo, inhibe la sensación de apetito y aumenta el gasto energético, en algunos pacientes con obesidad o diabetes se encontró resistencia a la leptina debido a que los niveles séricos son proporcionales al tejido adiposo corporal, por lo que estos pacientes presentan elevados niveles de leptina, a pesar de inhibir el apetito la mayoría de los pacientes con obesidad no controlan su apetito.

Una modulación en los niveles de leptina puede contribuir a corregir la resistencia hacia dicha hormona, entre sus beneficios se tienen:

- Incrementar la respuesta a la insulina y la absorción de glucosa al promover la translocación de GLUT-4 desde el citosol, al estimular la ruta IRS-2/JAK-2, seguida de la activación de la PI3K.
- Reduce la cantidad de glucosa captada por el tejido adiposo bajo la influencia de la insulina [25-29].

### La curcumina, un antioxidante excepcional.

Diversos estudios determinan la aplicación de la curcumina como un agente antioxidante, a distintos niveles:

- Donación de hidrógenos:



Gracias a la presencia de grupos fenólicos en la estructura química de la curcumina, muestra una poderosa actividad antioxidante donadora de hidrógeno [30].

■ Regulación de la NADPH:

La curcumina interviene reduciendo la sobreexpresión de NADPH, evitando un aumento en la formación de radicales superóxido [14].

■ Aumenta las actividades antioxidantes:

La curcumina influye en agentes antioxidantes, tales como el glutatión-S-transferasa (GST), glutatión (GSH), superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx) en diferentes tipos de cánceres en los distintos órganos [30].

### ¿La curcumina es tóxica para el ser humano?

Los efectos tóxicos de la curcumina, han sido estudiados desde hace muchos años atrás, teniendo como referencia un estudio citado por Clapé Laffita O (2012), realizado por Arbersún O, et al (1999), en el cual se evidenció que en un consumo continuo del extracto acuoso de cúrcuma a 100mg/kg, poseen un efecto ulcerogenico, por lo que se podría considerar dañino para el consumo como medicamento [31], sin embargo, estudios más recientes, colocan a ésta molécula con una baja capacidad tóxica, como en el estudio de Figueroa C, et al (2023), estimó que la dosis letal media de ésta molécula solo se da a niveles que sobrepase los 2000 mg/kg a nivel de estudio en ratones, así mismo, solo se encontraron algunas variaciones en algunos parámetros bioquímico pero sin importancia, por lo que se considera que la curcumina no presentó efectos tóxicos sobre los animales en experimentación, siendo uno de los muchos experimentos que mostraron éste efecto no toxicológico [32], por lo que, se encontró evidencia de pruebas ya realizadas en humanos, como lo menciona Thomas J (2021) en sus estudios, en los que se buscó probar la seguridad y tolerabilidad de un extracto de cúrcuma estandarizado que contiene 95 % de curcuminoides, con el consumo de cápsulas de 500g, 2 veces al día, por un total de 90, observándose en los parámetros de función hepática como aspartato aminotransferasa (AST), alanina aminotransferasa (ALT), fosfatasa alcalina (ALP), bilirrubina total y directa, gamma-glutamyl transpeptidasa (GGT) y lactato deshidrogenasa (LDH) no fueron significativamente alterado en el suero en comparación con el valor inicial, manteniéndose dentro del rango normal [33].

## CONCLUSIONES

Los estudios revisados evidencian que la curcumina es un compuesto multifuncional con un importante potencial terapéutico para mitigar los efectos del síndrome metabólico. La curcumina actúa reduciendo las concentraciones de lípidos en sangre y tejidos al favorecer la oxidación de ácidos grasos, mejorar la función mitocondrial y suprimir la síntesis de ácidos grasos y la lipogénesis hepática; disminuyendo así, la acumulación de lípidos y el riesgo de daño tisular. Asimismo, sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes ofrecen protección significativa contra el estrés oxidativo y la inflamación crónica, factores claves en la progresión del síndrome metabólico. Aunque los metabolitos reducidos, tetra y hexahidrocurcumina, poseen menor actividad biológica, la curcumina aún conserva efectos beneficiosos significativos. En conjunto, estos efectos posicionan a la curcumina como un agente terapéutico prometedor para el tratamiento y prevención del síndrome metabólico, destacando la necesidad de estrategias para optimizar su biodisponibilidad y maximizar su eficacia clínica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bovolini A, Garcia J, Andrade MA, Duarte JA. Metabolic syndrome pathophysiology and predisposing factors. *Int J Sports Med* [Internet].

2021;42(03):199–214.

Disponible

en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33075830/3>

- [2] Ambroselli D, Masciulli F, Romano E, Catanzaro G, Besharat ZM, Massari MC, et al. New advances in metabolic syndrome, from prevention to treatment: The role of diet and food. *Nutrients* [Internet]. 2023;15(3):640. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/nu15030640>
- [3] Fahed G, Aoun L, Bou Zerdan M, Allam S, Bou Zerdan M, Bouferraa Y, et al. Metabolic syndrome: Updates on pathophysiology and management in 2021. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2022;23(2):786. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/2/786>
- [4] Park Y-W, Zhu S, Palaniappan L, Heshka S, Carnethon MR, Heymsfield SB. The metabolic syndrome: Prevalence and associated risk factor findings in the US population from the third national health and nutrition examination survey, 1988-1994. *Arch Intern Med* 2003;163:427. <https://doi.org/10.1001/archinte.163.4.427>
- [5] Angélica María Apolo Montero, Kenny Fernando Escobar Segovia, Irene Pamela Herrera Vinelli, Cristian Arturo Arias Ulloa, Dorys Andrea Apolo Montero: "Análisis descriptivo del síndrome metabólico en trabajadores de empresas en la costa ecuatoriana, 2017 y 2018".
- [6] Vidal Plúas JG, Cedeño Ávila LM, Mendoza Hidalgo KL, Sabando Fariás BA. Alteraciones Glucémicas, Correlación con Síndrome Metabólico: Diagnóstico, Factores de Riesgo, Consecuencias y Tratamiento. *RECIMUNDO* [Internet]. 3(1), 185-200. [Internet]. 2021;3(1):185–200. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26820/recimundo3.1.enero.2019.185-200>
- [7] Qiu, L., Gao, C., Wang, H., Ren, Y., Li, J., Li, M., Du, X., Li, W., & Zhang, J. (2023). Effects of dietary polyphenol curcumin supplementation on metabolic, inflammatory, and oxidative stress indices in patients with metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Endocrinology*, 14. Curcumina [Internet]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37522129/>
- [8] Hay E, Lucariello A, Contieri M, Esposito T, De Luca A, Guerra G, et al. Therapeutic effects of turmeric in several diseases: An overview. *Chen Biol Interact* [Internet]. 2019;310(108729):108729. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbi.2019.108729>
- [9] Hodaie H, Adibian M, Nikpayam O, Hedayati M, Sohrab G. The effect of curcumin supplementation on anthropometric indices, insulin resistance and oxidative stress in patients with type 2 diabetes: a randomized, double-blind clinical trial. *Diabetol Metab Syndr* [Internet]. 2019; 11(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31149032/>
- [10] Hadi A, Pourmasoumi M, Ghaedi E, Sahebkar A. The effect of Curcumin/Turmeric on blood pressure modulation: A systematic review and meta-analysis. *Pharmacol Res* [Internet]. 2019;150(104505):104505. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phrs.2019.104505>
- [11] Ceja-Galicia ZA, García-Arroyo FE, Aparicio-Trejo OE, El-Hafidi M, Gonzaga-Sánchez G, León-Contreras JC, et al. Therapeutic effect of curcumin on 5/6Nx hypertriglyceridemia: Association with the improvement of renal mitochondrial  $\beta$ -oxidation and lipid metabolism in kidney and liver. *Antioxidants* (Basel) [Internet]. 2022;11(11):2195. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/11/2195>
- [12] Sangouni AA, Taghdir M, Mirahmadi J, Sepandi M, Parastouei K. Effects of curcumin and/or coenzyme Q10 supplementation on metabolic control in subjects with metabolic syndrome: a randomized clinical trial. *Nutr J* [Internet]. 2022;21(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36192751/>
- [13] Melo, M. Fernandes, D. Efeitos da suplementação da curcumina em pacientes com síndrome metabólica: uma revisão de literatura. (2021). Disponible en: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3428>
- [14] Li, J., Wu, N., Chen, X., Chen, H., Yang, X., & Liu, C. Curcumin protects islet cells from glucolipotoxicity by inhibiting oxidative stress and NADPH oxidase activity both in vitro and in vivo. *Islets*, [Internet]. 2019;11(6):152–64. <http://dx.doi.org/10.1080/19382014.2019.1690944>
- [15] Condor-Huamán Figueroa M, Arroyo Acevedo J, Zamudio Mal partida K. Vista de Toxicidad del rizoma pulverizado de *Cúrcuma longa* L. y curcumina. *Ciencia e investigación*. [Internet]. 2022;25(1):23–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/ci.v25i1.23471>

- [16] Tanvir EM, Hossen MS, Hossain MF, Afroz R, Gan SH, Khalil MI, et al. Antioxidant properties of popular turmeric(*Curcuma longa*)varieties from Bangladesh. *J Food Qual* 2017; 2017:1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/8471785>.
- [17] González-Albadalejo J, Sanz D, Claramunt R, Lavandera J, Alkorta I, Elguero J. Curcumina y curcuminoides: química, estudios estructurales y propiedades biológicas. *Anales De La Real Academia Nacional De Farmacia*. 2016; 81(4):278–310.
- [18] Nelson KM, Dahlin JL, Bisson J, Graham J, Pauli GF, Walters MA. The essential medicinal chemistry of curcumin: Miniperspective. *J Med Chem* 2017;60:1620–37. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.6b00975>
- [19] Beganovic S, Wittmann C. Medical properties, market potential, and microbial production of golden polyketide curcumin for food, biomedical, and cosmetic applications. *Curr Opin Biotechnol* 2024;87:103112. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103112>
- [20] Schneider, C., Gordon, O. N., Edwards, R. L., & Luis, P. B. (2015). Degradation of curcumin: From mechanism to biological implications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(35), 7606–7614. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00244>
- [21] Pandey A, Chaturvedi M, Mishra S, Kumar P, Somvanshi P, Chaturvedi R. Reductive metabolites of curcumin and their therapeutic effects. *Heliyon* [Internet]. 2020;6(11):e05469. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33241148/>
- [22] Gao Y, Zhuang Z, Gao S, Li X, Zhang Z, Ye Z, et al. Tetrahydrocurcumin reduces oxidative stress-induced apoptosis via the mitochondrial apoptotic pathway by modulating autophagy in rats after traumatic brain injury. *American Journal of Translational Research*. 2017;9(3):887.
- [23] Huang Y, Cao S, Zhang Q, Zhang H, Fan Y, Qiu F, et al. Biological and pharmacological effects of hexahydrocurcumin, a metabolite of curcumin. *Arch Biochem Biophys* [Internet]. 2018; 646:31–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.abb.2018.03.030>
- [24] Aggarwal, B., Deb, L., & Prasad, S. (2014). Curcumin differs from tetrahydrocurcumin for molecular targets, signaling pathways and cellular responses. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 20(1), 185–205. <https://doi.org/10.3390/molecules20010185>
- [25] Lourdes Preza Rodríguez L. Eficacia de la administración oral de curcumina en la remisión del síndrome metabólico. [México]: Universidad Juárez del estado de Durango; 2019
- [26] Oliveira, Sara Ferreira. Avaliação de derivados da curcumina com efeitos hipoglicemiantes. MS thesis. 2019.
- [27] Ramírez Emiliano J, Jiménez Flores LM, H. Macías M, López Briones S, Pérez Vázquez V. La curcumina incrementa la expresión de AMPK y PPAR $\gamma$  y disminuye la expresión de NF- $\kappa$ B en hígado de ratón diabético db/db. *Acta Univ* [Internet]. 2015; 24:23–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2014.718>
- [28] Sánchez-Muñoz F, García-Macedo R, Alarcón-Aguilar F, Cruz M. Adipocinas, tejido adiposo y su relación con células del sistema inmune. *Gac Med Mex* [Internet]. 2005;141(6):505–12. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0016-38132005000600009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0016-38132005000600009&script=sci_arttext)
- [29] Epstein J, Sanderson IR, MacDonald TT. Curcumin as a therapeutic agent: the evidence from in vitro, animal and human studies. *Br J Nutr* [Internet]. 2010;103(11):1545–57. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1017/s0007114509993667>
- [30] Zia A, Farkhondeh T, Pourbagher-Shahri AM, Samarghandian S. The role of curcumin in aging and senescence: Molecular mechanisms. *Biomed Pharmacother* 2021;134:111119. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.111119>.
- [31] Clapé Laffita O, Alfonso Castillo A. Avances en la caracterización farmacotóxica de la planta medicinal *Curcuma longa* Linn. *Medisan* 2012;16:97–114.
- [32] Figueroa C, Martín Y. Respuesta inmunomoduladora de la curcumina y rizoma pulverizado de la *Curcuma longa* L. en la prevención del cáncer de próstata inducida en ratas. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 2023.
- [33] Hv S, Thomas J V, Hs V, Shyamprasad. An open label, single arm, prospective clinical study to evaluate liver safety and tolerability of PUREMERICTM (standardized extract from *Curcuma longa*) in healthy subjects. *Toxicol Rep* 2021;8:1955–9. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.11.022>.