

# **Universidad Europea De Valencia**

Facultad De Ciencias De La Salud



## **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

**Título: Efectos de la suplementación con cúrcuma en la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio**

**Autor: Lidia Bono Sanz**

**Tutor: Bernardo Cuestas Calero**

**Curso 2024 – 2025**

## Índice

<b>Tabla de Siglas</b> .....	1
<b>Resumen</b> .....	2
<b>Palabras clave</b> .....	2
<b>Abstrack</b> .....	2
<b>KeyWord:</b> .....	2
<b>Introducción</b> .....	3
Inflamación, proliferación y remodelación. ....	5
<b>Marco histórico</b> .....	8
<b>Hipótesis</b> .....	9
<b>Objetivos</b> .....	9
General: .....	9
Específicos .....	9
<b>Metodología</b> .....	9
Definición de la pregunta de investigación. ....	9
Estrategia de búsqueda .....	10
Criterios de inclusión y exclusión. ....	10
<b>Resultados</b> .....	11
Tamaño de la muestra .....	11
Edad y nivel de la muestra.....	12
Metodos de evaluación y varaibles analizadas .....	12
<b>Discusión</b> .....	23
<b>Conclusión</b> .....	30
<b>Bibliografía</b> .....	32

### Tabla de Siglas

TABLA DE SIGLAS	
DOMS	Dolor muscular de aparición tardía
EIMD	Dolor muscular inducido por el ejercicio
CK	Creatina quinasa
IL	Interleucina
TNF	Factor de necrosis tumoral
S.G.A	Síndrome general de adaptación
PCR	Proteína C reactiva
CAT	Capacidad antioxidante total
MDA	Malondialdehído
MVC	Contracción voluntaria máxima
ROM	Rango de movimiento
VO2max	Consumo máximo de oxígeno
EVA	Escala visual analógica
RM	Repetición máxima
OMS	Organización mundial de la salud

## Resumen

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una planta de origen asiático cuyo principal compuesto bioactivo, la curcumina, presenta propiedades analgésicas, antiinflamatorias y antioxidantes. Estas características influyen positivamente en la reducción del dolor muscular inducido por el ejercicio (EIMD), un mecanismo caracterizado por microlesiones en las fibras musculares generando pérdidas de fuerza, inflamaciones y dolores musculares de aparición tardía (DOMS). El objetivo principal de este trabajo fue investigar cuales serían los efectos de la suplementación con cúrcuma sobre el daño muscular y la recuperación funcional post-ejercicio. Se realizó esta revisión sistemática siguiendo las directrices de PRISMA, con búsquedas en PubMed, ScienceDirect, Scielo, Dialnet y MEDLINE. De los 63 artículos encontrados, solo se seleccionaron 10 artículos que cumplían con los criterios de inclusión (participantes jóvenes con una intervención de curcumina oral comparada con placebo). Por otro lado, se excluyeron 53 artículos por no seguir con estos criterios y por tratar con animales. Los resultados mostraron que la suplementación con curcumina reducía significativamente los DOMS, al disminuir los niveles de creatina quinasa (CK) y las citocinas inflamatorias. Para ello, el protocolo que se debe seguir es la utilización de formulaciones con alta biodisponibilidad, con dosis de 500 y 1500 mg/día y con administraciones post-ejercicio o con combinaciones de pre + post ejercicio para obtener los efectos. En conclusión, la suplementación representa un método complementario prometedor y seguro para la recuperación post-ejercicio, aunque se necesita de más ensayos clínicos con protocolos más amplios y estandarizados.

**Palabras clave;** cúrcuma, curcumina, DOMS, inflamación, ejercicio y daño muscular.

## Abstrack

Turmeric is an asian plant whose principal bioactive compound, curcumin, presents analgesic, anti-inflammatory and antioxidant properties. This characteristics reduce muscular exercised-induced muscle soreness, a mechanism characterized by microdamage to muscle fibers, leading to loss of strenght, inflammation and "late show muscular pain" (tiene que haber una palabra tecnica para esto). This systematic review (comprueba que era este el nombre) was conducted following the PRISMA guidelines, searches were performed in PubMed, ScienceDirect, Scielo, Dialnet and MEDLINE databases. Out of 63 articles initially found, only 10 met the inclusion criteria (young participants receiving a turmeric intervention compared to placebo). Conversely, 53 articles were excluded because they did not meet the criteria or involved animal testing. The results showed that turmeric supplementation significantly reduced muscle pain, as it lowered creatine kinase and cytokine levels. The recommended protocol involves using high-bioavalailability formulations at doses of 500-1500mg/day, administered after exercising or combined pre- and post-exercise regimens to achieve optimal results. In conclusion, supplementation appears to be a promising, safe and complementary strategy for post-exercise recovery, although further clinical trials with larger sample sizes and standarized protocols are still needed.

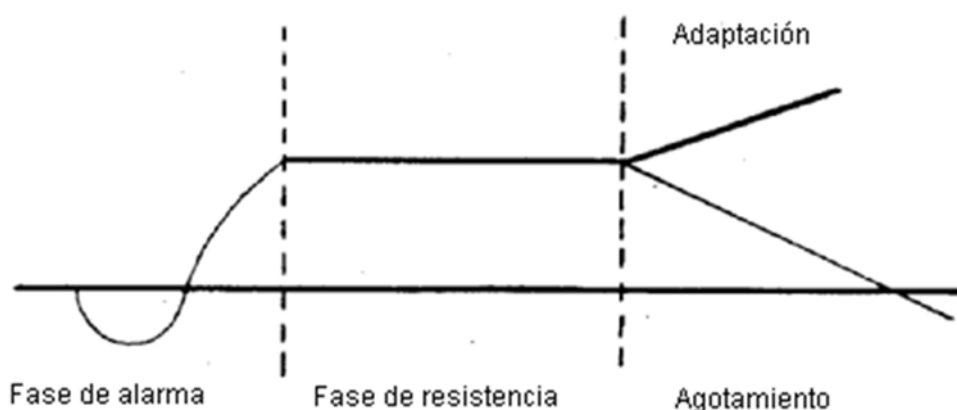
**KeyWord:** turmeric, curcumin, DOMS, inflammation, exercise and muscle damage.

## Introducción

Actualmente, se conoce los efectos positivos que proporcionan la actividad física y su importancia para mantener y preservar la salud. Según la OMS (organización Mundial de la Salud) en el 2024, mantenerse activos generan beneficios físicos, mentales y sociales. Entre los beneficios físicos, se destaca la mejora de la salud cardiovascular, reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades de hipertensión, cardíacas y cerebrovasculares. Además, fortalece los músculos y huesos del cuerpo, mejorando la densidad ósea y previniendo la osteoporosis. También, reduce el riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes, ciertos tipos de cáncer y las enfermedades metabólicas (Anderson & Durstine, 2019). Asimismo, mejora el sistema inmunológico y el control de peso corporal. Siguiendo con los beneficios emocionales y sociales, la actividad física reduce el estrés, ansiedad y la depresión; mejora la función cognitiva, promueve la calidad del sueño y motiva la socialización y la autonomía funcional, especialmente en los adultos mayores (Anderson & Durstine, 2019; Organización Mundial de la Salud, 2024). Por todo ello, la OMS en el 2024 recomienda realizar ejercicio físico entre 150 y 300 minutos semanales con ejercicios aeróbicos de intensidades moderadas o entre 75 y 150 minutos semanales con intensidades altas. Es fundamental su combinación con ejercicios de fuerza muscular al menos dos días por semana y reducir al máximo el tiempo de sedentarismo diario (Organización Mundial de la Salud, 2024).

Por otro lado, cuando se realiza ejercicio, el organismo experimenta varios cambios internos para adaptarse al esfuerzo físico y llegar a conseguir un nuevo estado de equilibrio o homeostasis. Muchos de estos cambios persisten horas, e incluso días después del cese de esta actividad física (Qiu et al., 2023). Este fenómeno se denomina adaptación, y se basa en la relación entre la fatiga y la recuperación tras recibir un estímulo o carga de entrenamiento. Esta adaptación puede ser inmediata, cuando se refiere a una única sesión de entrenamiento o a un estímulo aislado y una adaptación a largo plazo, cuando genera una acumulación de adaptaciones de corto plazo (Fink, 2017). Este proceso fue descrito por el fisiólogo canadiense Hans Selye en el año 1936, quien, a través de sus investigaciones, demostró que, en situaciones de desequilibrio provocadas por agentes externos, el organismo responde mediante una serie de ajustes fisiológicos específicos con el objetivo de restablecer el equilibrio funcional del cuerpo. También explico que, las respuestas varían en función del tipo de agente externo, pero que estas respuestas siguen siempre una misma secuencia, independientemente del estímulo concreto. A este patrón se le conoce como el síndrome general de adaptación (S.G.A) (Buckner et al., 2017). Este modelo sistémico está compuesto por 3 fases principales. La primera es la **fase de alarma**, donde el agente estresante altera el equilibrio interno del organismo. Ante esto, se activan una serie de mecanismo fisiológico (hormonales, cardiovasculares, químicos etc) con el fin de contrarrestar el impacto del estímulo y restablecer la homeostasis. Después la sigue la **fase de resistencia**, en la cual, una vez realizado los ajustes necesarios, el organismo entra en una etapa de resistencia activa frente al agente estresante, donde el cuerpo ha vencido el impacto inicial y mantiene el funcionamiento. Además, intenta conseguir un nivel mayor de adaptación para evitar que el próximo agente disyuntor afecte su situación. Por último,

está la **fase de agotamiento**, que ocurre cuando la agente estresante continua de forma prolongada y sus recursos adaptativos se agotan generando vulnerabilidad y un estado de debilitamiento. No obstante, también puede ocurrir que el organismo no solo se adapte al estímulo externo, sino que también mejore su resistencia, provocando una **fase de adaptación o supercompensación**. Sin embargo, esta mejora puede ser temporal sino se repite un estímulo similar en un plazo corto de tiempo (Buckner et al., 2017)



*Figura 1. Representación esquemática de las fases del S.G.A según Malarecki.*

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, el ejercicio actúa como un estímulo estresor del organismo. Sin embargo, este estímulo debe superar un umbral de intensidad para desencadenar una respuesta de adaptación (Hackney et al., 2013). El estímulo puede estar por debajo del umbral, siendo insuficiente para genera efecto en el cuerpo humano e incluso generar un desentrenamiento. Puede ser igual a nivel de umbral, es decir ser mínimo para el mantenimiento, pero no para mejorar la forma. O puede estar por encima del umbral, pero sin rebasar la línea de tolerancia máxima, provocando una adaptación positiva del entrenamiento, lo que significa que tanto la carga como la intensidad elegida son las acertadas. Por el contrario, un estímulo muy superior al umbral que si sobrepase la línea de tolerancia máxima genera un sobre entrenamiento (Hackney, A. et al., 2013). Asimismo, la efectividad y el correcto programa de entrenamiento está directamente enlazado con los procesos de recuperación, que ocurren en el intervalo de tiempo entre dos esfuerzos físicos o estímulos de carga, ya que gracias a este permite reponer la energía gastada en la actividad física (Kenttä & Hassmén, 1998).

La duración de la recuperación depende de la intensidad del ejercicio al igual que la duración de este y el gasto energético que esta implique. Mediante el entrenamiento se busca reducir los tiempos de recuperación, es decir, conseguir que el organismo recupere lo más rápido posible su estado optimo. En general, cuanto mayor sea la carga de entrenamiento aplicada, más tiempo de recuperación será

necesario, pero también más significativa será la supercompensación que experimentará el cuerpo. (Kenttä & Hassmén, 1998) Para que este mecanismo de super compensación ocurra de forma correcta, se necesita el cumplimiento de las leyes que garanticen la adaptación. Por ello, se articulan unos principios de entrenamiento, que favorecen su organización de este con el objetivo de preservar el cumplimiento de estas. Además, se pueden diferenciar 4 tipos de super compensación: Positiva, cuando la carga de entrenamiento es correcta y deja suficiente tiempo de recuperación para que aparezca el fenómeno de super compensación. Negativa, cuando se realiza cargas de entrenamiento repetidas con recuperaciones incompletas. Nula, cuando tras una carga de entrenamiento no deja tiempo suficiente para una recuperación completa. Y de efecto acumulado, cuando se producen cargas de entrenamientos repetidas con recuperaciones incompletas, pero tras terminarlas se deja el suficiente tiempo para que el organismo pueda recuperarse correctamente. Tras el entrenamiento y durante la recuperación, es muy común la aparición del DOMS generado por consecuencia del ejercicio extenuante, que a su vez puede ser ocasionado por contracciones musculares concéntricas y excéntricas. Aunque algunos estudios muestran las contracciones concéntricas como la principal causa, ya que han visto que generan un mayor daño muscular tras observar una disminución en los marcadores de fuerza funcional (Mackey & Kjaer, 2017)

Por otro lado, cuando se lleva a cabo el ejercicio intenso, se genera una inflamación aguda que contribuye a una reducción adicional de la fuerza muscular y por ende, al rendimiento deportivo. Varios estudios han señalado un aumento en los niveles plasmáticos de biomarcadores proinflamatorios como la proteína C reactiva (PCR), la interleucina 6 (IL-6) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) (Bernecker et al., 2013; Reihmane et al., 2013). Tanto el dolor muscular de aparición tardía como la inflamación están relacionadas. Este dolor se puede ver como un micro daño que activa las fases comunes de una lesión. Cuando se produce este tipo de lesión, inmediatamente se inicia el proceso de curación de la “herida”, que es un proceso complejo compuesto por tres fases superpuestas:

#### Inflamación, proliferación y remodelación.

La inflamación, se considera la primera línea de defensa del sistema inmune, donde participan el complejo de mastocitos y los neutrófilos (Rigamonti et al., 2014) Posteriormente se encuentra la proliferación donde las moléculas proinflamatorias mencionadas anteriormente (PCR, IL-6 Y TNF-alfa) consideradas citoquinas, son liberadas por los macrófagos M1, generando además la activación y proliferación de las células satélites musculares. En la etapa de remodelación se diferencian estas células satélites y maduran hasta formar nuevas miofibrillas, además los macrófagos M1 se transforman en M2, por lo que el ambiente proinflamatorio paulatinamente cambia a antiinflamatorio. Por último, se genera la cicatriz de tejido fibroso por fibroblastos (Kharraz et al., 2013). Los síntomas clínicos más comunes asociados al DOMS incluyen rigidez y debilidad muscular, rango de movimiento reducido y un deterioro funcional relativo, especialmente en las zonas donde el ejercicio se ha realizado con mayor intensidad y duración (Nahon et al., 2021). Por todo ello es muy importante que el entrenador optimice el periodo de recuperación para controlar esta sintomatología, permitiendo así que el deportista se sienta menos

fatigado y pueda disminuir el riesgo de lesiones adaptando la carga del entrenamiento (Soligard et al., 2016). Existen numerosos tratamientos para tratar de aliviar estos síntomas, los más relevantes son las tencinas de compresión y la inmersión en agua fría (Kargarfard et al., 2016; Leeder et al., 2012; Marqués – Jiménez et al., 2016). También se puede probar con la electroestimulación estiramientos, intervenciones antiinflamatorias relacionadas con la exposición al frío, la crioterapia o la inmersión en agua fría (Bieuzen et al., 2014; Costello et al., 2015). Todas ellas tienen en común la disminución del daño muscular y la inflamación causada por el ejercicio. Entre todas estas, se ha observado que los métodos más eficaces para el tratamiento del DOMS son las técnicas de compresión conocidas como las prendas de compresión, masajes y la inmersión al agua (Angelopoulos et al., 2022). Al mismo tiempo, existen medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE) que han sido frecuentemente utilizados para aliviar el dolor causado por las DOMS. Aunque una reducción moderada de la inflamación genere beneficios para facilitar la recuperación, una disminución excesiva de esta mediante el empleo de AINE, puede alterar las fases iniciales de la reparación tisular, influyendo negativamente en la recuperación adecuada del tejido muscular dañado (Schoenfeld, 2012).

Por otro lado, es primordial considerar el apoyo nutricional como parte del tratamiento. La nutrición deportiva ayuda a reducir estos efectos negativos de la actividad física y consigue facilitar el retorno al ejercicio y al entrenamiento. De hecho, las pautas nutricionales recomendadas para el crecimiento y la fuerza muscular son muy similares que en la rehabilitación para el desarrollo muscular (Tipton, 2015). En general la nutrición puede contribuir de forma positiva a los DOMS, proporcionando nutrientes esenciales para la reparación y regeneración de los tejidos como los macronutrientes: proteínas, carbohidratos y grasa saludables, y micronutrientes: minerales y vitaminas. Las proteínas en concreto favorecen la síntesis de proteínas en el organismo y acelera la recuperación de las lesiones musculares y articulares (Dobrowolski et al., 2020). Los ácidos grasos omega 3- provenientes de las grasas saludables, presentan propiedades antiinflamatorias que pueden influir positivamente a la inflamación generada en las lesiones (Fernández – Lázaro, D et al., 2024). Además, existen otros grupos alimentarios que poseen la propiedad antioxidante muy conveniente para este tipo de lesión, que son las frutas y verduras. Son considerados alimentos poco calóricos pero ricos en micronutrientes que contrarrestan el estrés oxidativo característico del micro daño muscular (Beck et al., 2021). Asimismo, los alimentos que forman estos grupos son fuentes altas de vitamina C y Zinc que contribuyen a favorecer la formación del colágeno y por ende, la cicatrización de las heridas (Beck et al., 2021). Por último, el factor de hidratación es clave para el proceso de curación, para evitar la deshidratación que conlleva al padecimiento de algunas lesiones y sobre todo para la circulación sanguínea, que es el medio principal de transporte de nutrientes y oxígeno para las áreas lesionadas (González-Alonso et al., 1998)

Se han estudiado diversas estrategias nutricionales con el objetivo de disminuir los DOMS, al igual que los procesos inflamatorios que se producen tras el ejercicio físico intenso. Según la declaración de consenso del comité olímpico internacional, existen algunos suplementos dietéticos que ejercen mejoras tanto en la capacidad de entrenamiento como la recuperación muscular y la prevención de



lesiones. La lista de suplementos que declara más efectivos son; el beta-hidroxibeta-metilbutirato, el monohidrato de creatina, los ácidos grasos omega-3, la vitamina D, el colágeno en combinación con la vitamina C, la gelatina y algunos compuestos que presentan propiedades antiinflamatorias como la curcumina o el jugo de cereza ácida (Tanabe et al., 2021). La función de estos suplementos contribuye a la reparación del tejido muscular, modulación sobre la inflamación y reducción del dolor muscular postejercicio. En concreto los suplementos con propiedades antiinflamatorias, generan cierta eficacia para influir positivamente en los DOMS, resultandos relevantes para aquellos deportes donde el dolor muscular pueden resultar limitante en las sesiones de entrenamiento posteriores (Tanabe et al., 2021). Asimismo, se ha propuesto que las respuestas inflamatorias relacionadas con el ejercicio, así como que las especies reactivas de oxígeno y los radicales libres, podrían estar implicados en la aparición de los DOMS, afectando integralmente a las fibras musculares y posponiendo su recuperación (Close et al., 2005).

En especial la curcumina es un compuesto bioactivo de la cúrcuma y esta a su vez, es una planta herbácea perenne muy conocida y utilizada en el sudeste asiático. Presenta gran interés en el mundo deportivo, porque se ha visto que actúa a través de un mecanismo muy parecido al de los AINE pero generando una supresión menos pronunciada de la inflamación (Fernández-Lázaro et al., 2020). Ejerce su efecto antiinflamatorio mediante la modulación de la vía de señalización denominada, ciclooxigenasa-2 (COX-2), influyendo en la disminución de la síntesis de citocinas proinflamatorias como; interleucina 1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), IL-6, IL-8, el TNF- $\alpha$  y las prostaglandinas (West & Phillips, 2004). Estas últimas se asocian con el aumento de la percepción del dolor tras el daño muscular producido por el ejercicio y las IL-8 junto con el TNF- $\alpha$  son considerados biomarcadores fiables de inflamación sistémica. Por lo tanto, la capacidad demostrada de la curcumina para neutralizar el factor nuclear kappa B en estudios in vitro la posiciona como una de las mejores opciones para el tratamiento de las DOMS (McFarlin et al., 2016) Sin embargo, todavía se requieren más estudios para comprender los mecanismos implicados, ya que algunos de estos se basan en modelos de animales lo que limita la validez externa para extrapolar a humanos. Además, algunos estudios realizados en humanos no emplean ejercicios de contracción excéntrica, los cuales son claves por su impacto sobre la variabilidad metabólica y la aparición de las DOMS (Tanabe et al., 2015). Por tanto, es necesario delimitar con mayor precisión la dosis óptima de cúrcuma para su aplicación en contextos reales, garantizando una mayor seguridad en la recuperación del entrenamiento. Además, dependiendo de la dosis, puede generar efectos secundarios gastrointestinales como diarrea, náuseas coloración en las heces y cefaleas junto a erupciones cutáneas (Sharma et al., 2004). Otra característica principal de la cúrcuma es su capacidad antioxidante y su posible utilización para casos clínicos (Sharma et al., 2004) Sin embargo, a pesar de su potencial terapéutico, la curcumina presenta una baja biodisponibilidad oral por su limitada absorción en el intestino delgado, lo que influye en su eficacia clínica, dando así mayor importancia a la cantidad exacta a utilizar (Bučević Popović et al., 2024)

## Marco histórico

La *Curcuma longa*, más conocida como cúrcuma es de origen asiático, concretamente de India y contiene diversos compuestos bioactivos, siendo la curcumina el más predominante. Principalmente fue definida como “una sustancia que aportaba el color amarillo “ por Vogel y Pelletier hace 200 años aproximadamente. Posteriormente, fue aislada en estado puro por Vogel Jr en 1842, pero a mediados del siglo XX, se consiguió identificar que la curcumina era la que poseía la actividad biológica, destacando por sus propiedades antibacterianas, siendo muy efectiva para atacar a ciertos patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella paratyphi*, *Mycobacterium tuberculosis* y *Trichophyton gypseum*. Por otro lado, en 1953, Sirinvasan logró analizar cromógraficamente la cúrcuma y identificó otros compuestos bioactivos, además de la curcumina, denominados curcuminoides (Prasad et al., 2014). Según Prasad et al. (2014), la cúrcuma presenta una composición química conformada mayoritariamente por carbohidratos (69,4%), seguidos de proteínas (6,3%), grasas (5,1%), minerales (3,5%) y agua (13,1%). Además, los curcuminoides están compuestos principalmente por curcumina (77%), demetoxicurcumina (17%) y bisdemetoxicurcumina (3%). En cuanto su característica fisicoquímica mas importantes es la baja solubilidad en agua a pH (>7) que presenta, aunque tiene gran solubilidad en disolventes orgánicos como acetona, metanol y etanol (Prasad et al., 2014). Debido a sus propiedades culinarias y medicinales, ha sido utilizada tradicionalmente en diversas culturas. La curcumina, se consigue a través de los rizomas de la hierba y se ha demostrado que tiene efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anticancerígenos (Menon V et al., 2007). Generalmente es reconocida como segura según la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) (U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2016). Sin embargo, se ha visto cierta irritación gástrica en humanos y casos de hepatotoxicidad en ratas. (Alhusaini et al., 2019)

Por otro lado, la curcumina tiene una biodisponibilidad limitada en el organismo, causado principalmente por su escasa absorción intestinal, su rápido metabolismo y su veloz eliminación sistémica (Devassy et al., 2015). Debido a esto, se han desarrollado varias estrategias para mejorar su biodisponibilidad. Entre ellas se encuentran, la utilización de una sustancia denominada piperina, que esta presenta en la pimienta negra, la formación de complejos con fosfolípidos, el uso de formulaciones liposomales y nanopartículas, así como la síntesis y la aplicación de análogos estructurales de la curcumina (Devassy et al., 2015). En las últimas décadas, gracias a la investigación, la curcumina ha generado gran interés en el sector de la salud y el deporte. Varias investigaciones recientes han relacionado su modo de actuación en el organismo con la modulación de algunas rutas moleculares como el estrés oxidativo, la inflamación sistémica y la regeneración tisular (Cui et al., 2025)

## **Hipótesis**

La suplementación con cúrcuma conseguirá mejorar de forma significativa la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio, generando disminuciones de marcadores inflamatorios y del dolor DOMS, además de mejoras en la funcionalidad muscular post-ejercicio.

## **Objetivos**

General: Investigar los efectos de la administración con suplementos de cúrcuma sobre la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio, analizando específicamente los parámetros inflamatorios, funcionales y sensoriales asociados al dolor muscular.

### **Específicos**

1. Examinar si la suplementación con cúrcuma permite disminuir los marcadores inflamatorios, generando niveles menores de IL-6, TNF- $\alpha$  y CK, posteriores a ejercicios de alta intensidad.
2. Explorar los efectos de la cúrcuma sobre la percepción de los DOMS tras la realización del ejercicio en los días posteriores a este.
3. Evaluar la eficacia de la cúrcuma en mejoras de recuperación funcional del musculo, investigando parámetros de fuerza, rangos de movimiento y el rendimiento físico después del daño muscular generado en el deporte.

## **Metodología**

Esta revisión sistemática trata respecto a cómo la suplementación con cúrcuma genera efectos beneficiosos en el dolor muscular tardío del deporte.

### **Definición de la pregunta de investigación.**

Para poder definir la pregunta de investigación, se ha utilizado el marco PICOS: P (población) “Hombres y mujeres activos jóvenes de entre 18-35 años”, I (intervención) “suplementación con cúrcuma”, C (comparador) “ las mismas condiciones pero con grupo control o placebo, O (resultados) “ cambios en parámetros inflamatorios, funcionales y sensoriales asociados al dolor muscular y S (diseño del estudio) todos los tipos de diseño de estudio.

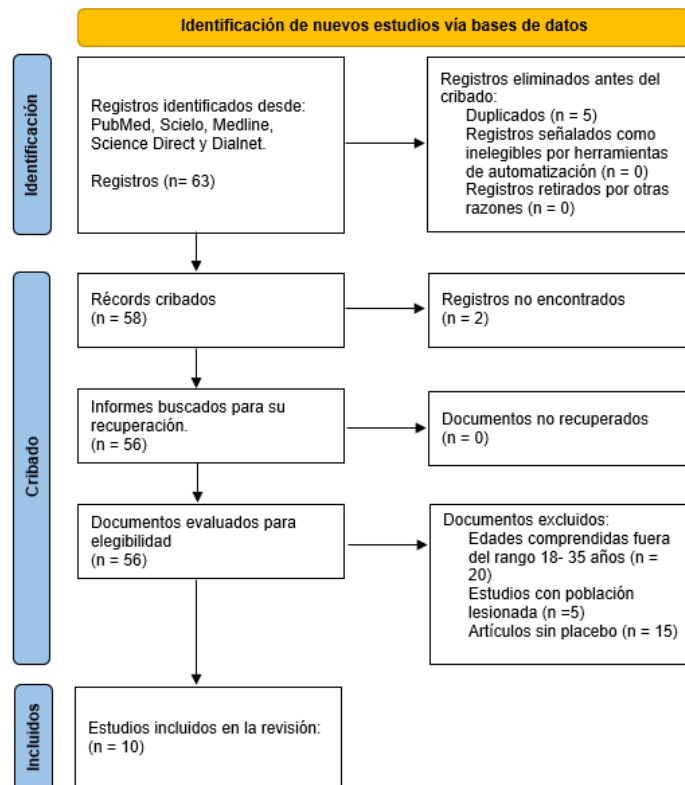


Figura 2. Diagrama de flujo siguiendo las directrices de PRISMA.

### Estrategia de búsqueda

La presente revisión bibliográfica fue realizada en concordancia con las recomendaciones de la declaración PRISMA (Urrútia & Bonfill, 2010). La identificación de los artículos publicados relacionados con la suplementación de cúrcuma y su efecto en el daño muscular inducido por el ejercicio fue desarrollada a través de una búsqueda extensiva de la literatura tanto en inglés como de castellano, sin restricciones de años (hasta agosto de 2025). Las plataformas de búsquedas empleadas fueron Scielo y PubMed, junto con las bases de datos de MEDLINE, ScienceDirect y Dialnet. Se utilizaron los operadores “AND” y “OR” para buscar la relación de dos o más palabras. Los descriptores de búsqueda de los *Medical Subject Headings* (MeSH) fueron: (“Curcumin”, “cúrcuma” o “curcuminoide” “curcumina” o “Curcuma longa”) (“dietary supplements”, “Nutritional Supplementation” “supplement” o “oral administration”) (“Muscle Soreness” “DOMS” “EIMS” “exercise- induced muscle damage”) (“Exercise” “Exercise – Induced” “physical activity”).

### Criterios de inclusión y exclusión.

La selección de los artículos que finalmente se incluyeron en el presente trabajo, se llevó a cabo aplicando una serie de criterios de inclusión, escogidos en función de los objetivos de este trabajo y que debían de ser cumplidos en su totalidad. Los siguientes criterios de inclusión fueron ; 1) artículos

completos 2) artículos con población activa y joven de entre 18 – 35 años 3) artículos con toma de suplementos que contenían curcumina 4) artículos con información clara sobre la toma y el procedimiento de la suplementación, especificando la dosis, los horarios de toma y su frecuencia 5) artículos con la toma de suplementos de forma oral y sus formatos varían entre bebidas, chicles, o pastillas /cápsulas 6) artículos con condiciones idénticas a la suplementación pero con grupos de control o placebo 7) artículos con personas que no padecían de problemas médicos específicos. Y los criterios de exclusión abarcaban las siguientes limitaciones: a) artículo que tratan con animales de forma no ética, b) artículos con individuos que padecían de dolor o lesión previamente a la intervención causados por alguna enfermedad c) artículos con población muy joven < 18 años o muy mayor > 35 años d) artículos con <10 participantes e) artículos que utilicen otra suplementación extra de otro tipo además de la suplementación con curcumina

## Resultados

El diagrama de flujo (figura 2), muestra el procedimiento que se ha llevado a cabo para el proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los artículos de la presente revisión sistemática. De un total de 63 artículos identificados y tras eliminar los duplicados, se obtuvo un total de 56 estudios. Se descartaron en primera instancia aquellos que no se encontraban en los rangos de edad establecidos (18-35 años) (n= 20). En segunda, fueron eliminados los estudios que presentaban población lesionada (n=5). Y en tercera, los artículos que no realizaban comparaciones con placebo (n=15). Finalmente, 10 artículos fueron seleccionados.

### Tamaño de la muestra

Estudios	Participantes			
	Número	Sexo	Edad	Nivel
<i>Primer Autor</i>				
<i>Amalraj, A et al., 2020</i>	33	12 Hombres 18 Mujeres	34 ± 1,1 años	Amateur
<i>McFarlin, B et al 2016</i>	28	Hombres	21,9 ± 2,0 años	Amateur
<i>Ms,S.A.B et al., 2020</i>	19	Hombres	21,7 ± 2,9 años	Amateur
<i>Tanabe, Y et al., 2019</i>	29	Hombres	25 ± 5 años	Amateur
<i>Dribnic, F et al., 2014</i>	20	Hombres	33,1 ± 1,1 años	Amateur
<i>Hillman, A. R et al., 2022</i>	22	17 Hombres 5 Mujeres	22 ± 2,1 años	Amateur
<i>Jäger, R et al., 2019</i>	63	31 Hombres 32 Mujeres	21 ± 2 años	Amateur
<i>Mallard, A.R et al., 2021</i>	28	Hombres	26,5 ± 7,5 años	Amateur
<i>Abbott, W et al., 2023</i>	11	Hombres	19 ± 1 años	Profesionales
<i>Nicol,LM et al., 2015</i>	17	Hombres	24,5 ± 10,5 años	Amateur

Tabla 1. Características de los participantes seleccionados en los estudios.

### Edad y nivel de la muestra

En lo que refiere a la edad de los deportistas, existe una gran variedad. Se puede dividir en dos bloques en deportistas amateur y profesionales con una media de edad de entre  $26,0 \pm 4,6$  años.

### Métodos de evaluación y variables analizadas

En esta revisión sistemática, se han seleccionado 10 estudios, los cuales, se han visto que presentan diferentes métodos de evaluación con distintas variables a analizar. En relación con las variables fisiológicas, la gran mayoría han optado por incluir mediciones de CK e incluso la han utilizado como biomarcador principal del daño muscular, pudiendo medirla en diferentes momentos tras la realización de los ejercicios de alta intensidad y antes de estos. (Amalraj et al., 2020; MS et al., 2020; McFarlin et al., 2016; Tanabe et al., 2019; Nicol et al., 2015). Asimismo, otros estudios incorporaron más marcadores inflamatorios como IL-6, IL-8 y TNF- $\alpha$ , pudiendo así valorar la magnitud de la respuesta inflamatoria relacionada con ese daño muscular (Hillman et al., 2022; Mallard et al., 2021; McFarlin et al., 2016). Por último, también eligieron medir variables relacionadas con el estrés oxidativo y la capacidad antioxidante total, y por ello, se seleccionó el malondialdehído (MDA) o la capacidad antioxidante total (CAT) (MS et al., 2020).

Por otro lado, se optó por analizar variables funcionales y de rendimiento, para que aportasen información relacionada con la recuperación muscular a parte de los biomarcadores sanguíneos. Siendo las más destacadas y seleccionadas; la fuerza máxima voluntaria (MVC), el rango de movimiento articular (ROM) y el consumo máximo de oxígeno  $VO_{2max}$  (Amalraj et al., 2020; Jäger et al., 2019; Tanabe et al., 2019).

Finalmente, en relación con los métodos utilizados, la gran mayoría de los estudios, optaron por valoraciones indirectas de evaluación del dolor, como la escala analógica visual (EVA), para ser aplicada en los distintos momentos del procedimiento del daño muscular y así poder cuantificar la intensidad que ha sido percibida en los participantes (Amalraj et al., 2020; Drobnic et al., 2014; MS et al., 2020; Tanabe et al., 2019 ). Asimismo, algunos estudios incorporaron junto con esta técnica, cuestionarios específicos de recuperación funcional, como el KOOS o la escala de fatiga percibida (Abbott et al., 2023; Hillman et al., 2022).

En los estudios, se han observado cierta heterogeneidad en cuanto a las poblaciones, las dosis administradas, las formulaciones del suplemento de cúrcuma y las variables analizadas. Condicionando la interpretación de todos los resultados.

En primer lugar, el ensayo de Amalraj et al., (2020) evaluó la eficacia de un compuesto denominado Cureit sobre los DOMS post ejercicio excéntrico continuo. Esta sustancia consistía en la

recreación de la matriz natural de la cúrcuma con curcumina y para obtenerla se utilizó una tecnología de sándwich polar/ no polar (PNS). Para inducir el dolor y el daño muscular, los participantes debían de realizar carreras en cinta durante 45 min, en la cual se les fijó una velocidad de 6 km/ h y se incrementaba 1 km/h cada minuto hasta que alcanzasen su esfuerzo máximo sostenible. Este se media a través del VO2max y su intensidad de dolor con EVA tras 48 horas después del ejercicio realizado. Los resultados mostraron disminuciones significativas en la percepción del dolor y mejoras en el VO2máx. Por otro lado, los niveles de CK, que es el marcador bioquímico utilizado para observar el daño muscular, solo consiguió reducirse de manera moderada y sin poder alcanzar cierta significación estadística en comparación con el placebo. Estos hechos sugieren que el suplemento de Cureit podría estar relacionado más con el efecto protector en variables funcionales como de rendimiento y de dolor subjetivo, que con los biomarcadores clásicos de daño muscular.

Estos datos contrastan con los mencionados por McFarlin et al., (2016), quienes decidieron elaborar un suplemento denominado Longvida, para que presentase una mayor biodisponibilidad en su estudio y además, eligieron una dosis de 400 mg/día durante 5 días. Pero antes de elegir la cantidad de tratamiento, realizaron un estudio piloto con el propósito de identificar las dosis óptimas eficaces para modificar los niveles de citocinas inflamatorias tras un EIMD. En este ensayo, seleccionaron 3 dosis (Longvida®: 200 mg, 400 mg y 1000 mg) y vieron que la dosis de 400 mg/día de curcumina era la más idónea, ya que redujo el TNF alfa sin que las dosis menores o mayores generasen beneficios adicionales. Por otro lado, la población seleccionada fue más homogénea, conformada por 28 varones jóvenes de edades medias comprendidas entre  $21,9 \pm 2,0$  años, reduciendo así la variabilidad interindividual, pero limitando la extrapolación a poblaciones mixtas o de mayor edad. Además, antes de la intervención, se consideró necesario que todos los participantes fueran sometidos a evaluaciones iniciales, en las cuales se incluían; exámenes hematológicos, para poder establecer valores basales antes del ejercicio, pruebas de fuerza muscular y una fase de familiarización con el protocolo de ejercicio. Estas pruebas se basaban en ejercicios de fuerza en prensa de pierna inclinada y su estimación de 1RM, en comparación con el estudio de (McFarlin et al., 2016). Por último, los resultados mostraron disminuciones significativas en ciertos marcadores bioquímicos de TNF alfa como el IL-8 y atenuaciones en la elevación de la CK post-ejercicio, pero no se observaron mejoras en el dolor percibido ni en la función articular.

En comparación, con los estudios anteriores, MS et al.,( 2020), seleccionaron un protocolo con una dosis más elevada de suplemento de curcumina, en concreto de 1,5 g/día durante 28 días, proporcionando una diferencia notable en la duración y cantidad administrada respecto a (Amalraj et al., 2020; McFarlin et al., 2016). La población incluyó 19 hombres jóvenes que tenían un perfil deportivo mas recreativo, reduciendo el sesgo de género, pero limitando a la extrapolación de poblaciones femeninas o de élite. Esta muestra de personas fue dividida en dos grupos; el primer grupo tomó una suplementación de curcumina de 1,5g diarios y al segundo grupo se le administró un placebo, durante 28 días consecutivos. Asimismo, antes y después de la toma, los sujetos realizaron un protocolo diseñado para

inducir el daño muscular, y se les recogió muestras sanguíneas antes del ejercicio y a los 60 minutos, 24 horas y 48 horas posteriores, con el fin de analizar ciertos biomarcadores; CAT, MDA, TNF- $\alpha$  y CK. Por otro lado, se utilizó EVA para poder cuantificar el dolor muscular percibido de los participantes. Los resultados mostraron una reducción significativa de los niveles de CK del grupo con suplementación de curcumina, en comparación con el grupo placebo con, sugiriendo un menor daño muscular. Además, se observó una disminución del dolor muscular en el grupo de curcumina frente al placebo proporcionando una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, no se encontraron cambios relevantes en los niveles de CAT, MDA ni TNF – alfa, indicando que la curcumina no interfiere negativamente con la respuesta inflamatoria generada naturalmente durante el ejercicio.

Por otro lado, Tanabe et al ., (2019), no se centró tanto en la dosis si no en el momento de administración del suplemento, teniendo como objetivo identificar el momento aproximado de la toma de la curcumina, siendo las opciones, antes o después del ejercicio. Y así, poder observar si hay variaciones en los marcadores de daño muscular después del ejercicio excéntrico. La muestra fue de 24 hombres jóvenes y sanos que realizaron 30 contracciones excéntricas máximas de los flexores del codo, teniendo una velocidad angular de 120°/s y utilizando un dinamómetro isocinético. Estos participantes fueron agrupados en 3 grupos; Grupo PRE, que ingirieron 180 mg diarios de curcumina durante los 7 días previos al ejercicio; Grupo POST, con dosis de 180 mg de curcumina, pero durante 4 días posteriores al ejercicio; Grupo CON (control), que tomó un placebo durante los 4 días posteriores al ejercicio. En este estudio, se analizaron diferentes variables en distintos momentos (antes, inmediatamente después y durante los 4 días posteriores al ejercicio), viendo el MVC, la ROM los DOMS y los niveles séricos de CK. Los resultados que se obtuvieron fueron que el grupo POST, el cual recibió la curcumina tras el ejercicio, experimentó una mejora en la recuperación del ROM a los 3 y 4 días y un menor dolor muscular a los 3 días, en comparación con el grupo placebo ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, el grupo PRE, no demostró mejoras significativas respecto al control en cuanto a rango de movimiento ni dolor. Por último, para MVC y la CK, no se encontraron diferencias significativas entre los 3 grupos. Estos datos muestran que la suplementación con curcumina después del ejercicio, generan un efecto más positivo en la reducción del dolor muscular y la recuperación del movimiento articular, comparándolo con la ingesta previa al esfuerzo físico.

Asimismo, esta comparación de MS et al., (2020) y Tanabe et al., (2019) propone que la magnitud del efecto de suplementación puede depender de dos aspectos; de la cantidad acumulada de curcumina ingerida y del timing administrativo en relación con el estímulo lesivo. Sin embargo, en ambos estudios, participaron varones jóvenes y los resultados se centraron en variables distintas. MS et al., (2020) mencionó que los beneficios de la suplementación están relacionados con la reducción de los biomarcadores de daño muscular y del dolor percibido tras el ejercicio, mientras que Tanabe et al., (2019) relacionó las mejoras con ROM.



En relación con las mejoras en las formulaciones de los suplementos, hay algunos estudios, que ha incorporado tecnologías de mejora para la biodisponibilidad. ; (Drobnic et al., 2014) (Meriva®/Phytosome); Hillman et al. 2022) (curcumina oral 500 mg x2/día), Jäger et al. (2019) (CurcuWIN®) y Mallard et al. (2021) (HydroCurc/LipiSperse. En todos ellos, se menciona la importancia de potenciar su absorción para obtener de forma más eficiente los efectos antiinflamatorios y los protectores sobre el músculo. Las diferencias entre la dosis, el diseño de estudio, la población y las variables seleccionadas proporcionan resultados parcialmente diferentes entre estos estudios.

Los estudios que decidieron utilizar formulaciones con tecnología de absorción mejorada como, Meriva, CurcuWIN y HydroCurc, encontraron coincidencias relevantes, pero, asimismo, se observaron diferencias metodológicas, condicionando los resultados y dificultando la comparación directa. Tanto Drobnic et al. (2014) como Mallard et al. (2021) proporcionaron información mas clara sobre la reducción del dolor muscular y su modulación temprana de la inflamación, proponiendo que la suplementación con curcumina interviene de forma mas aguda en los DOMS.

En el caso de Drobnic et al., (2014), realizaron un ensayo piloto con 20 hombres sanos no sedentarios con tomas de curcumina utilizando la tecnología de liberación Phytosome. Este método permite una mayor absorción del suplemento, ya que el Phytosome une la curcumina activa a fosfolípidos creando un compuesto muy similar a las membranas celulares. Esto genera que este compuesto sea absorbido de manera más sencilla y rápida por la barrera intestinal y que llegue más fácilmente al torrente sanguíneo. La toma fue de 1 g dos veces al día, siendo una equivalencia de 200 mg de curcumina por dosis. Este tipo de suplementación comienza 48 horas antes de una sesión de carrera cuesta abajo y continua hasta 24 horas después de esta prueba. Completando 4 días de administración. Los resultados principales obtenidos fueron que los participantes que tomaron la suplementación presentaban menor dolor en las extremidades inferiores en comparación con el grupo placebo, además con diferencias significativas en la parte anterior de los dos muslos. Algunos participantes del grupo de curcumina presentaron lesiones musculares que fueron detectadas por la resonancia magnética, sobre todo, en la zona posterior o medial de los muslos. Asimismo, se vieron que los aumentos de biomarcadores de daño e inflamación fueron mas bajos que el grupo no tratado. Solo la interleucina -8 generó una reducción mas significativa a las 2 horas posteriores al ejercicio. Por último, no se encontraron diferencias relevantes en los marcadores de estrés oxidativo ni en los resultados que se obtuvieron en la histología muscular. La fortaleza de este estudio está en el uso de imágenes y biopsias, pero su tamaño muestral es muy limitado y como es de carácter piloto, se reduce el potencial estadístico y sobre todo, el poder de ser generalizado.

De manera complementaria, el estudio de Mallard et al., (2021) , seleccionó y elaboró un compuesto denominado HydroCurc®, basado en una formulación lipídica que presentaba un sistema de dispersión adicional “ LipiSperse” mejorando así la solubilidad del suplemento. Los resultados no solo mostraron sus efectos sobre las DOMS a las 48 y 72 horas post-ejercicio, sino que además generó un

ambiente antiinflamatorio diferenciado, ya que se observó unos niveles altos de IL-10, con unas citoquinas que participan en procesos de regulación antiinflamatoria, junto con observaciones de disminuciones del perímetro del muslo (indicador indirecto de edema post-ejercicio) y con niveles bajos de lactato en sangre. Estos resultados proporcionan datos sobre como la suplementación puede, además de mitigar la sintomatología del DOMS, participar en optimizar la recuperación metabólica y limitar esa inflamación local muy presente en el contexto deportivo y prevenir así las lesiones generadas por las sobrecargas repetidas.

En contraste con los hallazgos de (Drobnic et al., 2014 ; Mallard et al., 2021) que mostraron en sus estudios los efectos sobre la reducción del dolor y la regulación temprana de la inflamación, (Hillman et al., 2022; Jäger et al., 2019) se centraron más en la preservación de la función muscular y el rendimiento neuromuscular, aun cuando los resultados bioquímicos no siempre fueron consistentes.

En el trabajo de Hillman et al., (2022) participó 22 individuos sanos y activos (17 hombres y 5 mujeres) y utilizó la administración oral de curcumina (500 mg por dos veces al día) durante 10 días. Siendo 6 días antes, el día del ejercicio y 3 días después de este. Se analizaron el dolor muscular percibido con sentadillas y saltos, la actividad de la CK, la velocidad de sedimentación eritrocitaria y la potencia muscular con el salto vertical. Los resultados mostraron que el grupo 1 tras 48 y 72 horas después del ejercicio tuvo menor dolor muscular y sostuvo la potencia muscular medida con el salto vertical en comparación con el grupo 2 que la potencia disminuyó. Por último, no se encontraron diferencias significativas en CK ni en la velocidad de sedimentación eritrocitaria, pero los niveles de la CK fueron un poco mas altos en el grupo 2, tras 24 horas post- ejercicio. En este estudio, la inclusión de población femenina y el diseño breve dan aplicabilidad práctica pero el tamaño de la muestra sigue siendo reducido.

Por otro lado, Jäger et al., (2019), realizaron un estudio más amplio con 63 participantes (31 hombres y 32 mujeres). En él se analizó como la suplementación durante 8 semanas con CurcuWIN®, que constaba de un portador hidrofílico, extracto de cúrcuma, derivados celulósicos y algunos antioxidantes, afectaba positivamente a la recuperación muscular y a el dolor muscular tras una carrera cuesta abajo. Se hicieron 3 grupos con suplementaciones y dosis distintas; Grupo 1, suplementación de curcumina con 200 mg; Grupo 2, suplementación con curcumina con 50 mg; Grupo 3, suplementación con harina de maíz (placebo). En los resultados se observaron que 200 mg es una dosis efectiva para mitigar la disminución del torque de extensión, ya que ese efecto no se mostró con 50 mg ni con el placebo. Además, solo el grupo 2 fue el único que presentó una caída en el torque de flexión y potencia, no se encontraron diferencias significativas en la potencia de extensión ni en la fuerza isométrica entre los grupos. Por último, aunque todos los grupos mostraron un incremento en el dolor muscular tras el ejercicio, el grupo 1 con 200 mg de suplementación, reflejó una menor molestia, pero sin alcanzar cierta significación estadística.

En conjunto, los hallazgos que se encontraron en los estudios de (Hillman et al., 2020; Jäger et al., 2019) indicaron que el protocolo de suplementación con curcumina, que sigue unas pautas de administración de corta duración alrededor del ejercicio en el caso de Hillman et al., (2020) o de forma crónica Jäger et al., (2019), pueden proporcionar algunos resultados positivos en relación con la preservación del rendimiento muscular y la capacidad funcional. Al no encontrar cambios consistentes en CK y otros biomarcadores de daño, mencionaron que los efectos beneficiosos de la curcumina podrían estar más relacionados con la optimización de la recuperación neuromuscular y la modulación de la fatiga, que con la prevención del daño estructural en las fibras musculares. Estos resultados se asemejan con los mencionados en, (Drobnic et al., 2014; Mallard et al., 2021) pero mientras que algunas formulaciones y protocolos de administración parecen más eficaces en la reducción del dolor y la inflamación temprana, otros se asocian principalmente a la conservación de la función muscular, lo que refleja la versatilidad de la curcumina según la dosis, la duración y el modelo de ejercicio empleado.

El estudio de Abbott et al., (2023) ha conseguido recrear un ensayo que traslada la suplementación con curcumina a un contexto deportivo real. En este trabajo eligieron a 11 jugadores de fútbol profesional sub-23 y decidieron someterles a exigencias de un partido oficial. A diferencia de otros trabajos, en los que el entorno eran ambientes de laboratorios controlados, en este estudio se puede observar una alta validez ecológica, ya que se ha visto que refleja condiciones de esfuerzo propias de la competición. Decidieron seguir un protocolo de administración muy similar a los otros, con suplementación de 500 mg de curcumina, tomada inmediatamente, y a las 12 y 36 horas post partido. Además, se midieron ciertas variables de rendimiento y recuperación muscular; la altura de salto, el índice reactivo de fuerza, el dolor muscular y el bienestar subjetivo, en donde también se especificaba la carga del partido y la ingesta dietética. En los resultados se demostró que la curcumina, en comparación con el grupo placebo, redujo notablemente el deterioro del salto contramovimiento y el índice reactivo, además del dolor muscular en las primeras 36 horas tras el partido. Por último, la diferencia más significativa se pudo observar después de las 12 horas en fuerza y a las 36 horas en dolor muscular.

En contraste, el estudio de Nicol et al., (2015), se eligió un enfoque más experimental y se elaboró el ensayo con dosis más altas de curcumina. Estas constaban de 2,5 gr de suplemento durante aproximadamente dos veces al día en formato de cápsula, las cuales consiguieron que fuesen idénticas al placebo de celulosa vegetal inerte. El protocolo fue de tomas durante 2 y 3 días después del ejercicio de press excéntrico con una sola pierna, además, teniendo un tiempo de reposo farmacológico de 14 días. Las mediciones se llevaron a cabo al inicio y a las 24 y 48 horas tras el ejercicio. La suplementación con curcumina dio lugar a reducciones significativas y moderadas a grandes en la percepción de dolor durante la sentadilla con una pierna, el estiramiento de glúteos y el salto en sentadilla. También se pudo observar pequeñas reducciones en los niveles séricos de la CK y mejoras en la percepción del dolor, generando un aumento leve del rendimiento en el salto con una pierna (aproximadamente 15 %). En cuanto a los marcadores inflamatorios, la suplementación con curcumina elevó las concentraciones de IL-6

inmediatamente post ejercicio con un 31 % y a las 48 horas con un 32 %, aunque se registró una disminución a las 24h (aproximadamente del 20 %) respecto al valor basal.

Referencia	Diseño del estudio	Población	Exposición	Métodos en recogida de datos	Medida de resultados	Resultados
(Amalraj et al.,2020)	Estudio longitudinal (ensayo clínico experimental aleatorizado con placebo y doble ciego)	N.º de participantes = 30 (12 hombres y 18 mujeres) Edad Media = 34 ± 1,1 años	Suplemento oral de Cureit (formula bioactiva de curcumina). Tras ejercicio excéntrico continuo.  Dosis: 500 mg diarios en cápsulas  Duración: 4 días consecutivos  Grupo control: Placebo (almidón alimentario)	Evaluaciones iniciales (examen físico, hematológico y VO2 max).  Inducción de DOMS (ejercicio de carrera en cinta 45 min)  Seguimiento del dolor: EVA durante 48 horas post-ejercicio.  Análisis de laboratorio post-tratamiento	Intensidad del dolor (EVA).  Niveles de CK (indicador de daño muscular).  VO <sub>2</sub> máx (rendimiento físico).	Reducción del dolor:  Grupo Cureit: EVA de 2.90 a 1.17 (p < 0.0001).  Grupo placebo: VAS de 2.70 a 2.37 (sin diferencia significativa).  Niveles de CK:  Reducción moderada en el grupo Cureit; no significativa comparado con placebo.  VO <sub>2</sub> máx:  Aumento significativo en el grupo Cureit (p = 0.0009)
(McFarlin et al.,2016)	Estudio longitudinal (ensayo clínico experimental aleatorizado con placebo y doble ciego)	Nº de participantes = 28 hombres  Edad promedio; 21,9 ± 2,0 años	Suplementación oral Longvida con curcumina  Dosis: 400 mg/día  Duración: 5 días consecutivos  Grupo control: placebo (harina de arroz)	Evaluaciones iniciales (examen hematológico antes del ejercicio y prueba de fuerza muscular y familiarización)	Niveles de quinasa (CK)  Concentraciones séricas de IL-6, IL-8, IL-10 y TNF-α.  Escala de Resultados de Lesiones de Rodilla y	Diferencias significativas en menores aumentos de CK, TNF-α e IL-8 tras el ejercicio vs placebo.  No diferencias significativas en IL-6,IL-10, ni dolor muscular.

				Evaluación del dolor subjetivo con encuesta.	Osteoartritis (KOOS)	
(MS et al., 2020)	Estudio longitudinal  (ensayo clínico experimental aleatorizado con placebo y doble ciego)	Nº de participantes = 19 hombres  Edad promedio = (21,7 ± 2,9 años)	Suplementación (CurcuFresh)  Dosis: Tres cápsulas de 500 mg/ día  Duración = 28 días consecutivos  Grupo control = Placebo	Toma de muestra de sangre antes, inmediatamente después y a los 60 min, 24h y 48 h. post-ejercicio.	Capacidad antioxidante total (TAC).  Malondialdehído (MDA)  TNF-α  Creatina quinasa (CK)  Dolor muscular (EVA)	Reducción significativa de CK del grupo curcumina vs placebo (p<0,0001)  Disminuciones de la intensidad de dolor muscular en grupo curcumina vs placebo (p=0,0120)  No se vieron diferencias significativas en TAC, TNF-α ni MDA entre los grupos.
(Tanabe et al., 2019)	Estudio longitudinal  (estudio aleatorizado, de simple ciego y de diseño paralelo)	Nº de participantes = 29 hombres  Edad promedio = (25 ± 5 años)	Suplementación curcumina  Grupo PRE: 180 mg/día durante 7 días previos al ejercicio  Grupo POST: 180 mg/día, durante 4 días posteriores al ejercicio.  Grupo CON (control): placebo durante 4 días posteriores al ejercicio	Medición de IL-8 plasmática (antes, justo después del ejercicio, a las 12 h y durante los 7 días posteriores)  Evaluación de torque MVC y rango de movimiento (ROM), CK y dolor muscular	Biomarcadores inflamatorios (IL-8), fuerza muscular (MVC), rango de movimiento (ROM), actividad de CK, percepción del dolor muscular	Grupo PRE: no diferencias significativas vs placebo, excepto reducción significativa de IL-8 a las 12 h post-ejercicio.  Grupo POST: mayor torque MVC y ROM durante los días 3-7 y 2-7 respectivamente, menor dolor muscular y menor actividad de CK entre los días 3-7 y 5-7 comparado con placebo (p < 0,05).

(Drobnic et al., 2014)	Estudio longitudinal ; Aleatorizado, controlado con placebo y simple ciego.	Nº de participantes = 20 hombres (1 abandonó por lesión)  Edad promedio= (33,1 ± 1,1 años)	Suplementación = Meriva (curcumina mejorada).  Dosis = 400 mg de curcumina  Duración = 4 días (48h antes y continuada hasta 24h después de una prueba de carrera cuesta bajo)  Grupo control: Placebo	Resonancia magnética  Análisis de laboratorio  Biopsias musculares a las 48 h post-ejercicio  Registro de dolor	Realización de autoinforme del dolor muscular  Evidencia de lesión muscular con MRI + niveles séricos + análisis histológicos	Grupo de curcumina = menos dolor en los muslos anteriores, menos lesiones y menores marcadores de inflamación (mas significativa el IL-8 a las 2 h post-ejercicio)
(Mallard et al., 2021)	Estudio longitudinal; Aleatorizado con doble ciego y controlado con placebo.	Nº de participantes = 22 (17 hombres y 5 mujeres)  Edad promedio= (22 ± 2,1 años)	Suplementación = curcumina  Dosis = (500 mg/ 2 veces día)  Duración= 10 días (con 6 días antes, el mismo día del ejercicio y 3 días después)  Grupo control = placebo	Extracciones de sangre y pruebas de recuperación física; antes, durante y después del ejercicio.	Niveles de Creatina quinasa (CK)  Dolor muscular con (squat y jump)  Potencia muscular vertical (vertical jump)  Velocidad de sedimentación eritrocitaria (ESR)	No diferencias significativas en los niveles de creatina quinasa (CK) en ambos grupos con (P=0,28), pero hay valores > 200 IU/L más altos en un grupo placebo a 24h.  El grupo de curcumina tuvo menor dolor a las 48 h y 72 h post-ejercicio con (P < 0,01)  El grupo placebo disminuyó la potencia de salto y el grupo de curcumina se mantuvo estable con (P= 0,01)

						La ESR, fue mayor tras ejercicio en ambos grupos (P = 0,25)
(Hillman et al., 2022)	Estudio longitudinal  Aleatorizado, con doble ciego, grupos paralelos y controlado con placebo	Nº de participantes = 63 (31 hombres y 32 mujeres)  Edad promedio = (21 ± 2 años)	Suplementación = (CurcuWIN®)  Placebo = almidón de maíz  Dosis; Grupo 1 = 200 mg Grupo 2 = 50 mg Grupo 3 = almidón de maíz  Duración = 8 semanas	Evaluaciones antes del ejercicio y post-ejercicio tras 1h, 24h, 48h y 72 h.  Prueba de dinamometría isocinética para la función muscular  Registro del dolor percibido	Torque máximo de extensión (isocinético)  Torque máximo de flexión y potencia  Potencia de extensión  Torque isométrico promedio  Soreness para la sensación de dolor muscular.	Grupo 1, evitó la reducción del torque máximo de extensión, que si se visualizó en los grupos 2 y 3.  El torque máximo de flexión y la potencia disminuyeron solo en el grupo 2.  No hubo diferencias muy significativas en la potencia de extensión ni en el torque isométrico promedio  Todos los grupos generaron un aumento del dolor muscular, aunque el grupo 1 tuvo una tendencia menor al dolor.
(Jäger et al., 2019)	Estudio longitudinal  Aleatorizado, con doble ciego, grupos paralelos y	Nº de participantes = 28 hombres  Edad promedio = (26,5 ± 7,5 años)	Suplementación = HydroCurc + maltodextrina  Dosis = 500 mg  Duración = 3 días	Registro de distintos momentos en el ejercicio (antes, inmediatamente después, 1,2,3,24,48 y 72	Dolor muscular (VAS) – Perímetro del muslo (TC) – Lactato capilar – CK, LDH, hs-CRP, mioglobina – Citoquinas inflamatorias	El grupo con curcumina mostró menor acumulación de lactato postejercicio (7,4 vs 8,8 mmol/L)

	controlado con placebo			h post-ejercicio).	(IL-6, IL-10, TNF- $\alpha$ )	<p>Menor percepción de dolor muscular a las 48 y 72 h postejercicio en comparación con placebo.</p> <p>Reducción del perímetro del muslo (TC) en el grupo de curcumina a las 24 y 48 h postejercicio.</p> <p>No se detallan diferencias específicas en CK, LDH, hs-CRP, mioglobina o citoquinas inflamatorias en el resumen disponible.</p>
(Abbott et al.,2023)	Estudio longitudinal, Aleatorizado, controlado con placebo y diseño cruzado.	Nº de participantes = 11 jugadores masculinos de fútbol  Edad promedio= (19 $\pm$ 1 años)	Suplementación = curcumina  Dosis = 500 mg  Duración = 3 días	Mediciones antes y a las 12, 36 y 60 horas post-partido.	<p>Altura de salto (CMJ)</p> <p>Índice de fuerza reactiva (RSI)</p> <p>Dolor muscular (DOMS)</p> <p>Bienestar subjetivo</p>	<p>La suplementación con curcumina generó reducciones significativas en CMJ (<math>p \leq 0,004</math>) y RSI (<math>p \leq 0,001</math>).</p> <p>Además, consiguió reducir las DOMS, en todas las mediciones posteriores al partido (<math>p \leq 0,004</math>).</p> <p>El mayor efecto en DOMS se midió a las 36 h post partido (<math>p &lt; 0,001</math>)</p>
(Nicol et al., 2015)	Estudio longitudinal,	Nº de participantes = 17 hombres	Suplementación = curcumina	Mediciones y evaluaciones en línea base y a las	Dolor muscular (escala VAS) en ejercicios de	Se han observado reducciones moderadas a



	Ensayo cruzado, doble ciego, aleatorizado y controlado.	sanos y deportistas  Edad promedio= (24,5 ± 10,5 años)	Dosis = 2,5 g / 2 veces al día  Duración = 5 días (2,5 días antes del ejercicio y 2,5 días después del ejercicio.)  Placebo = celulosa vegetal inerte.	0, 24 y 48 horas post- ejercicio: dolor (VAS), hinchazón muscular, el salto con una pierna y marcadores séricos de daño e inflamación.	sentadilla unilateral, estiramiento glúteo y salto en cuclillas.  Altura final de salto con una pierna  Niveles de CK y IL-6 en diferentes momentos.	grandes respecto al dolor muscular tras las 24 y 48 horas (VAS: - 1,0 a -1,9)  Mejoras en el salto con una pierna (aproximadamente + 15%)  Ligeras disminuciones de la CK ( -22 a 29%)  Aumentos de IL-6 inmediatamente después y a las 48 h, pero se consiguió disminuciones a las 24 h ( -20%).
--	---	--	--	--	--	---

Tabla 2. Selección de artículos del estudio.

## Discusión

Tras la revisión de la literatura para la realización de este trabajo sistemático sobre la suplementación de cúrcuma en contextos de EIMD, se ha encontrado cierta tendencia positiva hacia los efectos que causan en las personas, en concreto, sobre la reducción del dolor muscular tardío tras el ejercicio y la presente disminución de CK, que ha sido utilizado como indicador del daño muscular. Sin embargo, se ha ido mencionando la alta heterogeneidad metodológica existente en los estudios, que puede limitar la posibilidad de dar pautas exactas y proporcionar información sobre el procedimiento en cuanto a la eficacia, la dosis óptima, el momento de administración y los efectos funcionales. Los metaanálisis y revisiones encontradas relacionados con el tema también señalan estas limitaciones. (Liu et al., 2024; Li et al., 2023; Nosrati-Oskouie et al., 2022).

No obstante, uno de los resultados más repetidos de los artículos seleccionados, ha sido la reducción de CK tras la suplementación con la curcumina, comparándolo siempre con un placebo y analizándolo en los diferentes momentos del ejercicio. Por ejemplo, en los ensayos de (McFarlin et al.,

2016; Mallard et al., 2021) se mencionaron reducciones muy significativas sobre este biomarcador en días posteriores al ejercicio causado por el daño muscular. En contraste, también en algunos estudios como el de (Tanabe et al., 2019) donde se utilizó dosis más bajas o formulaciones más estándar, no se pudieron encontrar esas diferencias significativas en los momentos post-ejercicios. Estos datos, coinciden con algunos hallazgos observados en metaanálisis recientes como Li et al., (2024) donde encontraron disminuciones de este parámetro, pero también con elevada heterogeneidad metodológica entre sus estudios y en el metaanálisis de Beba et al., (2022) donde se mencionó que, entre sus estudios, había una clara reducción significativa de CK, comparado con los placebos. Estos resultados indican que la curcumina genera efectos positivos en la modulación del biomarcador principal del daño muscular, pero que el momento de su medida y la duración del seguimiento, son factores claves.

Otros factores que se han visto que modulan los efectos de este parámetro, son la dosis del suplemento, la formulación, la biodisponibilidad, el momento de administración y las características de la muestra. Por ejemplo, en un estudio donde comparaban cantidades de curcumina administrada, de 1500 mg respecto a 750 mg, se encontraron resultados más favorables con las cantidades más altas (Helder et al., 2025). Asimismo, en el artículo de Amalraj et al., (2020), se administraron dosis elevadas de curcumina durante el ejercicio excéntrico y se observaron reducciones moderadas del biomarcador, pero no se alcanzaron esos niveles tan bajos en todos los puntos de medida. Sin embargo, en el estudio de McFarlin et al., (2016), también se utilizó dosis elevadas pero su formulación denominada Longvida potenciaba la absorción del suplemento, lo que hacía que se midieran descensos más claros de los biomarcadores del daño muscular y de las citocinas inflamatorias. Estos resultados se asemejan a los comentados en los metanálisis de (Nosrati-Oskouie et al., 2022; Oxley & Peart, 2024a) que indicaban que la suplementación administrada en cantidades superiores a 500 mg/ día y que además, sea prolongada más allá de las 48h post-ejercicio, generará mayores reducciones de CK y de los biomarcadores inflamatorios.

Respecto a la formulación y su biodisponibilidad, como se ha mencionado a lo largo del trabajo, la curcumina presenta baja biodisponibilidad oral, debido a que tiene una menor absorción intestinal y un metabolismo rápido, limitando su cantidad en sangre y reduciendo por otro lado su efecto biológico, lo que puede explicar la variabilidad de algunos resultados entre los estudios. Se ha visto, que en aquellos que se utilizaron formulaciones adaptadas, como Meriva® en Drobnic et al., (2014), Longvida® en McFarlin et al., (2016), CurcuWIN® en Mallard et al., (2021) o HydroCurc® en Hillman et al., (2022), se obtuvieron efectos más positivos sobre las reducciones de CK. Un claro ejemplo es el estudio de Drobnic et al., (2014), en el cual se elaboró la formulación Meriva, consiguiendo encontrar reducciones significativas de CK e incluso se originó recuperaciones más rápidas de los DOMS, respecto al placebo. Al igual que Mallard et al., (2021), donde mencionaron descensos notables de CK y de la inflamación utilizando la formulación mejorada del suplemento de curcumina. Estos efectos están respaldados por el metaanálisis de Li et al., (2024), en el que se valora la influencia que puede tener la biodisponibilidad respecto a la eficacia de la curcumina., se analiza las formulaciones mejoradas y se explica que parte de la heterogeneidad de los efectos sobre la CK es debido a ello, proporcionando mejores resultados que la curcumina estándar convencional. En la revisión sistemática de Nosrati – Oskouie et al., (2022) reafirma el hecho de utilizar

formulaciones mejoradas como, por ejemplo, hidrolizadas, nanoestructuradas o combinadas con piperina para generar mayores disminuciones en los biomarcadores inflamatorios y sobre todo para la reducción del estrés oxidativo.

Por otro lado, el timing de la suplementación se encuentra dentro de esos factores claves. En el artículo de Tanabe et al., (2019), se comparó su efecto antes y después del ejercicio, dando como resultado que la toma de después del esfuerzo resultaba más eficaz respecto a los descensos de CK y en la mejora del ROM. Estos hallazgos generan evidencia sobre que es más relevante sus efectos en la fase de respuesta inflamatoria post- ejercicio que pre- ejercicio. En correspondencia, el metaanálisis de Oxley & Peart, (2024a), mostró que las pautas de suplementación post- ejercicio de sus estudios reportaban mayores resultados positivos en relación con los descensos de CK, aunque también mencionó la variabilidad de los resultados y que en algunos casos no se alcanzó significación estadística. Por otro lado, en los ensayos de (Dronnic et al., 2014; Jäger et al., 2019), en los que se seleccionó el protocolo de administración pre- y post- ejercicio, se llegó a observar mejoras tanto en el dolor muscular como en CK y ROM, proporcionando evidencia de que la exposición continua del suplemento antes y después de ejercer la actividad física puede llegar a potenciar la recuperación. El momento en el que se mide los parámetros es muy crítico para poder cerciorarse de los efectos del suplemento. En el metaanálisis de Fang & Nasir, (2021) se recalcó que, para poder ver esos efectos, se necesita de entre 48 - 96 horas de margen para su análisis. Si las mediciones se realizaron en periodos más cortos es posible que no se puedan observar los cambios de los biomarcadores ni de fuerza y llegar a conclusiones negativas o no certeras.

Por lo tanto, es necesario disponer de una formulación que presente alta biodisponibilidad para poder obtener altas concentraciones del suplemento en el plasma, una dosis suficiente de entre ( $\geq 500$ –1500 mg/día) con protocolos que cubran los tiempos necesarios para la inflamación post- ejercicio y que el momento de la administración es más preferible después del esfuerzo físico, pero existe la posibilidad de combinar la toma antes y después de este.

Al mismo tiempo, la característica de la muestra, es decir, las diferencias individuales de las poblaciones seleccionadas influyen sobre los biomarcadores del daño muscular y sobre la inflamación generada en el ejercicio. Por ejemplo, en los artículos de (Abbott et al., 2023 ; Hillman et al., 2022), los participantes fueron sujetos entrenados y deportistas profesionales y se vieron disminuciones con menores significancias de CK en comparación con los otros ensayos en los que los sujetos eran sedentarios. Este suceso puede ser debido a que en los individuos entrenados, la elevación basal de CK no es tan pronunciada tras el ejercicio en comparación con las personas no entrenadas, reduciendo así el margen de mejora atribuible a la suplementación. Esto se evidencia en el metaanálisis de (Li et al., 2024), ya que aparecen estos datos donde en los estudios en los que participaban individuos entrenados, sus niveles de CK eran menores que los sedentarios. Asimismo, las variables de sexo y edad no han sido muy utilizadas en términos de comparación y extrapolación, ya que en la gran mayoría de los estudios los participantes eran varones y con edades comprendidas entre 18 – 45 años.

Por otro lado, en los 10 estudios seleccionados para el trabajo, se incluye la escala analógica visual, para poder tener cierta medición subjetiva sobre el dolor que se genera tras la realización de un esfuerzo físico. En casi todos, se menciona que la curcumina reduce ese dolor comparado con el placebo y que esas reducciones son más evidentes entre las 24 y 96 horas después del ejercicio. Estos resultados coinciden con los metaanálisis de (Beba et al., 2022; Liu et al., 2024), que reportan esas disminuciones de dolor, aunque con cierta heterogeneidad entre sus estudios, mencionando que algunos de esos efectos generaban variación según las condiciones del estudio. Por ejemplo, en la mayoría de los ensayos en los que se mencionaban esas reducciones del dolor tras el ejercicio, no se encontraban diferencias significativas en algunas situaciones como cuando la dosis del suplemento es muy baja, cuando el tiempo de la administración de la curcumina es muy breve o cuando los ejercicios pautados para el daño muscular son muy leves. Además, ese método utilizado para la medición del dolor, es muy subjetivo, generando variabilidad individual considerable y puede que haya diferencias entre la escala utilizada y las indicaciones dadas a los participantes, afectando a los resultados de los estudios.

Sumado al daño estructural de la CK y al dolor subjetivo de los DOMS, en muchos ensayos basados en los efectos de la curcumina, analizan algunos marcadores inflamatorios como la interleucina IL-6, la IL-8, el TNF alfa y la PCR. Y parámetros de estrés oxidativo como la MDA, la CAT y el lactato deshidrogenasa. Existe evidencia reportada en ensayos científicos de un metaanálisis que sugieren que la curcumina presenta propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, ya que inhibe la cadena de inflamatoria NF-KB, modula la JAK-STAT y activa las vías antioxidantes como Nrf2 (Oxley & Peart, 2024b). En los artículos seleccionados hay resultados dispares. En el ensayo de Drobic et al., (2014), que utilizó la formulación de Meriva para una mayor biodisponibilidad del suplemento, las reducciones de la interleucina-8 fueron claras, al igual que en el ensayo de McFarlin et al., (2016) con la formulación de longvida, que además hubo descensos del factor de necrosis tumoral alfa y las CK. Sin embargo, en el ensayo de Tanabe et al., (2019), las reducciones dependían del protocolo utilizado por los participantes, de antes o después del ejercicio y no hubo descensos de la interleucina-6 en ninguno de los tiempos medidos.

En el metaanálisis de Li et al., (2024), se mencionaron mejoras significativas en la IL-6, la CK y las DOMS, aunque dando mucha importancia en la dosis y la duración del suplemento. Por otro lado, en el metaanálisis de Nosrati-Oskouie et al., (2022) se explicó el papel del suplemento en los mecanismos antiinflamatorios y su poder como antioxidante, pero también se consideró los factores de formulación, dosis, población y medida como valiosos para que ejerzan esos efectos.

En contraste con la reducción de los biomarcadores inflamatorios y el dolor subjetivo, se ha visto el efecto que tiene la suplementación de curcumina sobre la recuperación funcional y el rendimiento de los individuos. Esta información le resultaría muy valiosa a los deportistas y a los entrenadores, ya que

podrían reducir las lesiones musculares al recuperar la fuerza, la movilidad y el rendimiento físico en el menor tiempo posible. En los estudios seleccionados se mencionan las técnicas utilizadas para medir de forma objetiva la función muscular, destacando principalmente la fuerza máxima voluntaria (MVC), el torque isométrico, el rango de movimiento articular (ROM) y el VO2 máximo. En Tanabe et al., (2019) se originó mejoras en la recuperación del torque isométrico y del ROM tras las 48 y 72 horas después del ejercicio comparándolo con el grupo placebo. En el ensayo de Jäger et al., (2019) se encontraron progresos en la fuerza máxima y en la recuperación muscular, además de las reducciones del dolor subjetivo generado por el ejercicio. En Amalraj et al., (2020) se observaron avances en la eficiencia metabólica y en la resistencia aeróbica y anaeróbica de pruebas submáximas al registrar VO2 max favorables y mejoras en las tolerancias al esfuerzo de los individuos suplementados. Sin embargo, en los artículos de (Hilman et al., 2022; Abbott et al., 2023) los resultados fueron los contrarios, al no registrar diferencias significativas en la fuerza o en el rendimiento de los participantes pese al haber reducciones del dolor. Esto sugiere que el alivio del DOMS no va ligado siempre con las mejoras del rendimiento, al menos en un corto tiempo.

Asimismo, en el metaanálisis de Li et al., (2024) se informó de resultados positivos en el ROM y la fuerza isométrica, junto con las reducciones en CK y los dolores. Pero evidenciaron estos resultados con tiempos superiores a una semana y con cantidades superiores a los 500 mg del suplemento de curcumina.

Los artículos y los metaanálisis elegidos para el presente trabajo tienen limitaciones metodológicas y variabilidades que influyen en la heterogeneidad de los resultados reportados. Una de la más repetitivas es el tamaño de las muestras, que es considerado muy pequeño. Las poblaciones de estudio se encuentran con intervalos de 20 30 participantes generando disminuciones en la potencia estadística y aumentos en la posibilidad de obtener errores. Esto limita el hecho de detectar distenciones reales entre los grupos y dificulta la viabilidad de extrapolar los resultados. Asimismo, existe grandes diferencias entre las características de las poblaciones estudiadas. Por ejemplo, se incluyen sujetos sedentarios o moderadamente activos hasta deportistas experimentados que presentan edades dispares y una condición física diferente. También, en la gran mayoría de los estudios la población elegida ha sido de hombres jóvenes, impidiendo a su vez generalizar los resultados a mujeres o atletas de élite. Por otro lado, en los metaanálisis de (Oxley & Peart, 2023; Li et al., 2024) se menciona que el nivel de entrenamiento es un factor importante que influye en la moderación de la respuesta fisiológica sobre la curcumina, considerándose los sujetos menos entrenados los que mayores reducciones de los biomarcadores inflamatorios y antioxidantes tienen. En relación con el diseño experimental, los ensayos elegidos muestran una combinación de estudios paralelos y de diseños cruzados, que además poseen diferencias a resaltar en el grado de cegamiento y en el control del placebo. Igualmente, en algunos estudios, se ha visto que han utilizado la medición subjetiva de los DOMS, siendo una variable que al ser subjetiva de la opinión del participante, genera sesgos en relación con el efecto placebo.

Otro aspecto para tener en cuenta es la diversidad de los protocolos seleccionados para inducir al daño muscular. Los ensayos elegidos aplican diferentes técnicas o ejercicios como entrenamientos de resistencia, contracciones excéntricas, ejercicios de FM o protocolos mixtos, que, además, juegan con diferentes volúmenes, intensidades y números de repeticiones. Esto influye en los resultados al afectar directamente en la magnitud del daño muscular. Por lo tanto, esta ausencia de tener un protocolo estandarizado del daño muscular genera errores y variabilidades entre los resultados.

Por otro lado, existe heterogeneidad en la formulación de la curcumina utilizada. En algunos estudios optan por emplear la curcumina estándar y otros, teniendo en cuenta la mala biodisponibilidad de este suplemento, deciden manejar otras formulaciones (Meriva®, Longvida®, CurcuWIN®, HydroCurc®) junto con que, en muchos casos, los autores no reportan ciertas características del producto como cuál es la pureza del extracto, cuál es la cantidad real de curcumina absorbida o si hay alguna presencia de algún coadyuvante. Todo ello, dificulta e impide conocer la dosis real efectiva, además de poder compararla con otras intervenciones. Como se menciona en Nosrati-Oskouie et al.,(2022), esto genera que los resultados sean inconsistentes en algunos de los estudios clínicos.

Las mediciones aplicadas en cada uno de los estudios también generan limitaciones metodológicas a considerar. Por ejemplo, el rango de movimiento (ROM), el rendimiento aeróbico e incluso la fuerza máxima voluntaria, se han puesto en práctica y se han analizado con protocolos diferentes y en muchas ocasiones esos protocolos, no estaban estandarizados. Por lo tanto, la falta de igualdad entre los procedimientos genera poca confiabilidad entre los estudios y puede dar lugar a enmascaramientos sobre los posibles efectos positivos de la curcumina.

Por otro lado, se ha visto que los tiempos de duración del seguimiento son muy distintos, en algunos ensayos clínicos solo analizan los resultados entre 24-48 horas después de los ejercicios, pero no tienen en cuenta que algunas de las adaptaciones fisiológicas y que las reducciones de los biomarcadores pueden aparecer tras las 72-96 horas e incluso más. Esta limitación del tiempo puede generar subestimaciones sobre los efectos positivos del suplemento en la fase de recuperación completa.

Por último, es necesario mencionar la posibilidad de la presencia del sesgo de publicación, que ocurre de manera frecuente en el ámbito de la nutrición y la suplementación. Los metaanálisis recientes (Oxley & Peart, 2023; Li et al., 2024) mencionan que aquellos ensayos en los que los resultados hayan sido positivos tienen mayor probabilidad de ser publicados, en comparación con los estudios con resultados negativos o nulos. Este sesgo debe de tenerse en cuenta en los resultados agregados ya que, se pueden tener conclusiones no reales que sobrestiman la eficacia del suplemento.

En base al conjunto de evidencias disponibles que se han encontrado en los estudios individuales como en los metaanálisis revisados, a continuación, se redactará algunas recomendaciones prácticas para la aplicación de la suplementación con cúrcuma y curcumina en el ámbito deportivo. A pesar de que los

resultados no han sido muy concluyentes, hay posibilidades de proporcionar una base sólida para guía sobre el uso del suplemento para la reducción del dolor tras el ejercicio.

Por un lado, se sugiere utilizar unas formulaciones con alta biodisponibilidad, ya que se ha visto que el formato estándar provoca limitaciones de absorción. En los ensayos, las fórmulas más utilizadas fueron Meriva®, Longvida®, CurcuWIN® y HydroCurc®, que además produjeron mayores reducciones de CK, IL-6 y DOMS comparándolas con los demás suplementos (Drobnic et al., 2014; McFarlin et al., 2016; Hillman et al., 2022). Esta selección de fórmulas hidrolizadas, nano encapsuladas o combinadas con piperina generarán mayor eficacia del suplemento.

Por otro lado, la dosis de selección dependerá de cuál es el objetivo fisiológico. En este caso, para conseguir reducciones de marcadores causados por el daño muscular y la inflamación (CK, IL-6, TNF- $\alpha$ ), las cantidades medias estarían entre ( $\geq 500$ –1500 mg/día) para que ejerzan la mayor efectividad sobre todo cuando pasen varios días tras el esfuerzo físico. Pero si se necesita para mejorar el rango de movimiento y reducir el dolor muscular percibido, se pueden tomar dosis más moderadas en los momentos claves post- ejercicio. Estas guías coinciden con las descritas en el metaanálisis de (Li et al., 2024), en la que la dosis seleccionada fue de  $\geq 500$  mg y la duración de 3 días. También como ya se ha descrito, el momento de la administración, es decir, el timing, es muy determinante. La evidencia recalca que para mitigar esas respuestas inflamatorias, el tiempo de después de la actividad física es crucial (Tanabe et al., 2019; Oxley & Peart, 2023). Asimismo, se ha visto que iniciar con la toma de suplementación algunos días previos al ejercicio, puede acondicionar el cuerpo y así, reducir el daño muscular tardío al igual que se debe mantener 72 horas como mínimo después del ejercicio para que la estrategia sea la más eficaz posible. Por ello, las evaluaciones y los análisis deberán de ser al menos 72-96 horas después de este, ya que se ha comprobado que los picos más altos de CK, IL-6 y dolor muscular, tienen lugar durante ese tiempo. Por último, es necesario la individualización de la suplementación debido a que el efecto de la curcumina puede variar según el entrenamiento, la edad, el sexo y las condiciones específicas y fisiológicas del individuo. A parte de que las tolerancias gastrointestinales y las respuestas de inflamación del organismo difieren entre la población, por lo que es imprescindible la dosificación para cada uno.

Tras comentar las limitaciones y las recomendaciones, se va a comentar a continuación, propuestas para futuras líneas de investigación. Primero, elaborar ensayos clínicos aleatorizados, multicéntricos y que presenten muestras amplias, en concreto diferentes grupos que seleccionen tanto hombres como mujeres y que, además, tengan diferentes niveles deportivos como amateur, semiprofesional y profesional. Esta ampliación de la muestra provocará una mayor potencia estadística y mejoras en los resultados. Segundo, estudios con grupos que tomen distintas dosis (baja, media y alta) para su comparación, además en ellos se deberá identificar cual sería la dosis mínima eficaz y la dosis óptima para poder así especificar las cantidades y ver los beneficios sin comprometer la seguridad,

especialmente en protocolos prolongados. Tercero, homogenizar los protocolos de daño muscular inducido por el ejercicio, para tener definido y establecido los tipos de ejercicios empleados como por ejemplo excéntricos, concéntricos o mixtos, al igual que se debería estandarizar las cargas, el número de repeticiones y la duración. Esto generaría resultados que puedan ser comparables con otros ensayos y ser extrapolados a otras poblaciones. Cuarto, emplear métodos y técnicas validados para gestionar las mediciones de fuerza máxima voluntaria, el rango de movimiento o del rendimiento muscular, pudiendo reducir el sesgo generado por utilizar diferentes procedimientos e instrumentos en los estudios. Quinto, analizar la biodisponibilidad del suplemento en el organismo con técnicas especializadas en determinar la curcumina en el plasma, pudiendo así comprobar la cantidad exacta absorbida y comprobar los efectos fisiológicos observados. Sexto, proponer seguimientos prolongados de más de 96 horas post- ejercicio, es decir a largo plazo, para tener un control de los posibles efectos secundarios o de las adaptaciones fisiológicas producidas por la toma de la suplementación de forma crónica. Sexto, investigar la seguridad y la tolerancia sobre todo de las dosis altas en poblaciones susceptibles como por ejemplo los adultos mayores, personas que padezcan de algún tipo de enfermedad inflamatoria o incluso deportistas que se encuentren sometidos a entrenamientos con cargas muy altas y pesadas.

### **Conclusión**

Este trabajo se ha centrado en analizar la evidencia científica disponible relacionada con los efectos de la suplementación con cúrcuma sobre la recuperación después de una actividad física, dando importancia a los DOMS, al EIMD y los mecanismos asociados con la respuesta inflamatoria y oxidativa que se genera tras ese esfuerzo.

Después de la revisión de los artículos seleccionados y los metaanálisis comparados, se puede llegar a una conclusión general, la cual consiste en que la curcumina presente en la cúrcuma tiene un potencial moderadamente favorable para mitigar los efectos del daño muscular y para ayudar a tener una buena recuperación funcional. Aunque se ha visto que la magnitud de este efecto es variable entre los estudios.

En primer lugar, tanto la CK como los marcadores de daño muscular, en la mayoría de los estudios se llega a la conclusión de que hay reducciones, aunque no en todos se alcanza la significación estadística. Estas disminuciones son más claras cuando pasan 48-96 horas después del esfuerzo físico, ya que coincide con el momento de mayor respuesta inflamatoria.

En segundo lugar, las evidencias más sólidas y reproducibles son los resultados relacionados con el dolor muscular (DOMS). Muchos ensayos han concluido que la suplementación alcanza disminuciones perceptibles en cuanto a la intensidad del dolor se refiere y que se han comparado con el placebo. Especialmente cuando el protocolo se basa en la utilización de formulaciones con buena absorción y que



llevan dosis sostenidas. Estos hallazgos, se confirman en los metaanálisis (Oxley & Peart 2023; Li et al., 2024) que respaldan el papel de la curcumina como coadyuvante en la reducción del malestar muscular post-ejercicio.

En relación con los marcadores inflamatorios y oxidativos, el suplemento de curcumina puede modular la producción de citocinas como IL-6, IL-8 y TNF- $\alpha$ , y disminuir el daño oxidativo, aunque hay que recalcar que algunos resultados son heterogéneos. Asimismo, las revisiones sistemáticas (Oskouie et al., 2022; Salehi et al., 2020) evidencian esa acción antiinflamatoria y antioxidante que posee la curcumina, pero que depende de algunos factores como la dosis, la formulación y el tiempo de administración.

En términos de recuperación funcional, las conclusiones no son tan homogéneas. En algunos ensayos confirman buenos resultados en la fuerza voluntaria máxima y en el rango de movimiento, mientras que en otros no confirman que existan diferencias significativas en comparación con el placebo. Los metaanálisis, aunque mencionen una tendencia positiva sobre estos parámetros, existe una alta heterogeneidad con bajas potencias estadísticas. Se necesita más investigaciones con protocolos y diseños homogéneos y con muestras más amplias.

Las formulaciones y la biodisponibilidad son factores muy determinantes; las opciones mejoradas que se han analizado en los estudios como (Meriva®, Longvida®, CurcuWIN®, HydroCurc®) generan efectos más positivos y estables que las formulaciones convencionales. Además, las dosis moderadas ( $\geq 500$  mg/día) junto con la administración post-ejercicio o si no combinada (pre + post) son las estrategias más efectivas para reducir CK, citocinas y dolor. Sin embargo, la evidencia actual tiene algunas limitaciones metodológicas relevantes. No obstante, la evidencia que existe actualmente sobre este tema, presenta limitaciones relevantes mencionadas a lo largo del trabajo, como el tamaño de la muestra reducido, la heterogeneidad de los protocolos de ejercicio y sobre todo, de las formulaciones empleadas, la falta de estandarización en las pruebas funcionales y que no hubiera la inclusión en muchos estudios de las mujeres y de los atletas de élite. Todo ello impide establecer conclusiones definitivas sobre cuál sería la magnitud real del efecto de la curcumina.

De todos modos, la suplementación con cúrcuma se considera una estrategia complementaria y potencialmente útil para favorecer la recuperación tras el esfuerzo de ejercicios de alta intensidad o de carácter excéntrico. Pero es muy importante, que dentro del programa se incluya un descanso adecuado, una nutrición equilibrada y saludable y una correcta planificación del entrenamiento.

Para las futuras investigaciones, se recomienda que elaboren diseños más rigurosos y estandarizados, en los cuales se incorporen estrategias de evaluación para analizar la biodisponibilidad del suplemento y que se amplie el seguimiento del post-ejercicio en más horas para poder cerciorarse de los posibles efectos secundarios tardíos. Solo con estudios de mayor calidad y con más coherencia

metodológica, se podrá obtener una precisión de la eficacia y la aplicabilidad de la curcumina como ayuda en el ámbito deportivo.

### Bibliografía

- Abbott, W., Hansell, E. J., Brett, A., Škarabot, J., James, L. J., & Clifford, T. (2023). Curcumin Attenuates Delayed-Onset Muscle Soreness and Muscle Function Deficits Following a Soccer Match in Male Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(4), 347–353. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0283>
- Actividad física. (s/f). Who.int. Recuperado el 11 de octubre de 2025, de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Alhusaini, A., Fadda, L., Hasan, I. H., Zakaria, E., Alenazi, A. M., & Mahmoud, A. M. (2019). Curcumin Ameliorates Lead-Induced Hepatotoxicity by Suppressing Oxidative Stress and Inflammation, and Modulating Akt/GSK-3 $\beta$  Signaling Pathway. *Biomolecules*, 9(11), 703. <https://doi.org/10.3390/biom9110703>
- Amalraj, A., Divya, C., & Gopi, S. (2020). The Effects of Bioavailable Curcumin (Cureit) on Delayed Onset Muscle Soreness Induced By Eccentric Continuous Exercise: A Randomized, Placebo-Controlled, Double-Blind Clinical Study. *Journal of Medicinal Food*, 23(5), 545–553. <https://doi.org/10.1089/jmf.2019.4533>
- Anderson, E., & Durstine, J. L. (2019). Physical activity, exercise, and chronic diseases: A brief review. *Sports Medicine and Health Science*, 1(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2019.08.006>
- Angelopoulos, P., Diakoronas, A., Panagiotopoulos, D., Tsekoura, M., Xaplanteri, P., Koumoundourou, D., Saki, F., Billis, E., Tsepis, E., & Fousekis, K. (2022). Cold-Water Immersion and Sports Massage Can Improve Pain Sensation but Not Functionality in Athletes with Delayed Onset Muscle Soreness. *Healthcare*, 10(12), 2449. <https://doi.org/10.3390/healthcare10122449>
- Beba, M., Mohammadi, H., Clark, C. C. T., & Djafarian, K. (2022). The effect of curcumin supplementation on delayed-onset muscle soreness, inflammation, muscle strength, and joint flexibility: A systematic review and dose–response meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytotherapy Research*, 36(7), 2767–2778. <https://doi.org/10.1002/ptr.7477>
- Beck, K. L., von Hurst, P. R., O'Brien, W. J., & Badenhorst, C. E. (2021). Micronutrients and athletic performance: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 158, 112618. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112618>
- Bernecker, C., Scherr, J., Schinner, S., Braun, S., Scherbaum, W. A., & Halle, M. (2013). Evidence for an exercise induced increase of <sc>TNF</sc> - $\alpha$  and <sc>IL</sc> -6 in marathon runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 207–214. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01372.x>

- Bučević Popović, V., Karahmet Farhat, E., Banjari, I., Jeličić Kadić, A., & Puljak, L. (2024). Bioavailability of Oral Curcumin in Systematic Reviews: A Methodological Study. *Pharmaceuticals*, 17(2), 164. <https://doi.org/10.3390/ph17020164>
- Buckner, S. L., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). The General Adaptation Syndrome: Potential misapplications to resistance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(11), 1015–1017. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.02.012>
- Close, G. L., Ashton, T., McArdle, A., & MacLaren, D. P. M. (2005). The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 142(3), 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2005.08.005>
- Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B., & Bleakley, C. (2015). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(9). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010789.pub2>
- Cui, J., Li, H., Zhang, T., Lin, F., Chen, M., Zhang, G., & Feng, Z. (2025). Research progress on the mechanism of curcumin anti-oxidative stress based on signaling pathway. *Frontiers in Pharmacology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1548073>
- Devassy, J. G., Nwachukwu, I. D., & Jones, P. J. H. (2015). Curcumin and cancer: barriers to obtaining a health claim. *Nutrition Reviews*, 73(3), 155–165. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuu064>
- Dobrowolski, H., Karczemna, A., & Włodarek, D. (2020). Nutrition for Female Soccer Players—Recommendations. *Medicina*, 56(1), 28. <https://doi.org/10.3390/medicina56010028>
- Drobnic, F., Riera, J., Appendino, G., Togni, S., Franceschi, F., Valle, X., Pons, A., & Tur, J. (2014). Reduction of delayed onset muscle soreness by a novel curcumin delivery system (Meriva®): a randomised, placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-31>
- Fang, W., & Nasir, Y. (2021). The effect of curcumin supplementation on recovery following exercise-induced muscle damage and delayed-onset muscle soreness: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytotherapy Research*, 35(4), 1768–1781. <https://doi.org/10.1002/ptr.6912>
- Fernández-Lázaro, D., Mielgo-Ayuso, J., Seco Calvo, J., Córdova Martínez, A., Caballero García, A., & Fernandez-Lazaro, C. (2020). Modulation of Exercise-Induced Muscle Damage, Inflammation, and Oxidative Markers by Curcumin Supplementation in a Physically Active Population: A Systematic Review. *Nutrients*, 12(2), 501. <https://doi.org/10.3390/nu12020501>
- Fink, G. (2017). Selye's general adaptation syndrome: stress-induced gastro-duodenal ulceration and inflammatory bowel disease. *Journal of Endocrinology*, 232(3), F1–F5. <https://doi.org/10.1530/JOE-16-0547>

- González-Alonso, J., Calbet, J. A. L., & Nielsen, B. (1998). Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 513(3), 895–905. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.895ba.x>
- Hackney, A. C., & Walz, E. A. (n.d.). *Hormonal adaptation and the stress of exercise training: the role of glucocorticoids*.
- Helder, T. A., Condon, S., Grant, I., Lewis, N. A., Hill, J., Pedlar, C. R., & Hughes, L. (2025). The dose–response effects of hydrolyzed curcumin on recovery, inflammation, and oxidative stress following exercise-induced muscle damage in males. *Physiological Reports*, 13(15). <https://doi.org/10.14814/phy2.70504>
- Hillman, A. R., Gerchman, A., & O’Hora, E. (2022). Ten Days of Curcumin Supplementation Attenuates Subjective Soreness and Maintains Muscular Power Following Plyometric Exercise. *Journal of Dietary Supplements*, 19(3), 303–317. <https://doi.org/10.1080/19390211.2021.1875101>
- Jäger, R., Purpura, M., & Kerksick, C. M. (2019). Eight Weeks of a High Dose of Curcumin Supplementation May Attenuate Performance Decrements Following Muscle-Damaging Exercise. *Nutrients*, 11(7), 1692. <https://doi.org/10.3390/nu11071692>
- Kargarfard, M., Lam, E. T. C., Shariat, A., Shaw, I., Shaw, B. S., & Tamrin, S. B. M. (2016). Efficacy of massage on muscle soreness, perceived recovery, physiological restoration and physical performance in male bodybuilders. *Journal of Sports Sciences*, 34(10), 959–965. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1081264>
- Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and Recovery. *Sports Medicine*, 26(1), 1–16. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00001>
- Kharraz, Y., Guerra, J., Mann, C. J., Serrano, A. L., & Muñoz-Cánoves, P. (2013). Macrophage Plasticity and the Role of Inflammation in Skeletal Muscle Repair. *Mediators of Inflammation*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/491497>
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W., & Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(4), 233–240. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090061>
- Liu, X., Lin, L., & Hu, G. (2024). Meta-analysis of the effect of curcumin supplementation on skeletal muscle damage status. *PLOS ONE*, 19(7), e0299135. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299135>
- Mackey, A. L., & Kjaer, M. (2017). The breaking and making of healthy adult human skeletal muscle in vivo. *Skeletal Muscle*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13395-017-0142-x>
- Mallard, A. R., Briskey, D., Richards, B. A., & Rao, A. (2021). Curcumin Improves Delayed Onset Muscle Soreness and Postexercise Lactate Accumulation. *Journal of Dietary Supplements*, 18(5), 531–542. <https://doi.org/10.1080/19390211.2020.1796885>
- McFarlin, B. K., Venable, A. S., Henning, A. L., Sampson, J. N. B., Pennel, K., Vingren, J. L., & Hill, D. W. (2016). Reduced inflammatory and muscle damage biomarkers following oral supplementation with bioavailable curcumin. *BBA Clinical*, 5, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.bbacli.2016.02.003>

- Menon, V. P., & Sudheer, A. R. (n.d.). ANTIOXIDANT AND ANTI-INFLAMMATORY PROPERTIES OF CURCUMIN. In *The Molecular Targets and Therapeutic Uses of Curcumin in Health and Disease* (pp. 105–125). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-0-387-46401-5_3)
- MS, S. A. B., Waldman, P. H. S., Krings, P. B. M., Lamberth, P. J., Smith, P. J. W., & McAllister, P. M. J. (2020). Effect of Curcumin Supplementation on Exercise-Induced Oxidative Stress, Inflammation, Muscle Damage, and Muscle Soreness. *Journal of Dietary Supplements*, 17(4), 401–414. <https://doi.org/10.1080/19390211.2019.1604604>
- Nahon, R. L., Silva Lopes, J. S., & Monteiro de Magalhães Neto, A. (2021). Physical therapy interventions for the treatment of delayed onset muscle soreness (DOMS): Systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 52, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.07.005>
- Nicol, L. M., Rowlands, D. S., Fazakerly, R., & Kellett, J. (2015). Curcumin supplementation likely attenuates delayed onset muscle soreness (DOMS). *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1769–1777. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3152-6>
- Nosrati-Oskouie, M., Aghili-Moghaddam, N. S., Tavakoli-Rouzbehani, O. M., Jamialahmadi, T., Johnston, T. P., & Sahebkar, A. (2022). Curcumin: A dietary phytochemical for boosting exercise performance and recovery. *Food Science & Nutrition*, 10(11), 3531–3543. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2983>
- Oxley, R. A., & Peart, D. J. (2024a). The effect of curcumin supplementation on functional strength outcomes and markers of exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. In *Nutrition and Health* (Vol. 30, Issue 1, pp. 77–92). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/02601060231186439>
- Oxley, R. A., & Peart, D. J. (2024b). The effect of curcumin supplementation on functional strength outcomes and markers of exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition and Health*, 30(1), 77–92. <https://doi.org/10.1177/02601060231186439>
- Prasad, S., Gupta, S. C., Tyagi, A. K., & Aggarwal, B. B. (2014). Curcumin, a component of golden spice: From bedside to bench and back. *Biotechnology Advances*, 32(6), 1053–1064. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.04.004>
- Qiu, Y., Fernández-García, B., Lehmann, H. I., Li, G., Kroemer, G., López-Otín, C., & Xiao, J. (2023). Exercise sustains the hallmarks of health. *Journal of Sport and Health Science*, 12(1), 8–35. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.10.003>
- Reihmane, D., Jurka, A., Tretjakovs, P., & Dela, F. (2013). Increase in IL-6, TNF- $\alpha$ , and MMP-9, but not sICAM-1, concentrations depends on exercise duration. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 851–858. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2491-9>
- Rigamonti, E., Zordan, P., Sciorati, C., Rovere-Querini, P., & Brunelli, S. (2014). Macrophage Plasticity in Skeletal Muscle Repair. *BioMed Research International*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/560629>
- Schoenfeld, B. J. (2012). The Use of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs for Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports Medicine*, 42(12), 1017–1028. <https://doi.org/10.1007/BF03262309>

- Sharma, R. A., Euden, S. A., Platton, S. L., Cooke, D. N., Shafayat, A., Hewitt, H. R., Marczylo, T. H., Morgan, B., Hemingway, D., Plummer, S. M., Pirmohamed, M., Gescher, A. J., & Steward, W. P. (2004). Phase I Clinical Trial of Oral Curcumin. *Clinical Cancer Research*, 10(20), 6847–6854. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-04-0744>
- Soligard, T., Schwellnus, M., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T., Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Janse van Rensburg, C., Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1030–1041. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>
- TANABE, Y., CHINO, K., SAGAYAMA, H., LEE, H. J., OZAWA, H., MAEDA, S., & TAKAHASHI, H. (2019). Effective Timing of Curcumin Ingestion to Attenuate Eccentric Exercise-Induced Muscle Soreness in Men. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65(1), 82–89. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.82>
- Tanabe, Y., Fujii, N., & Suzuki, K. (2021). Dietary Supplementation for Attenuating Exercise-Induced Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness in Humans. *Nutrients*, 14(1), 70. <https://doi.org/10.3390/nu14010070>
- Tanabe, Y., Maeda, S., Akazawa, N., Zempo-Miyaki, A., Choi, Y., Ra, S.-G., Imaizumi, A., Otsuka, Y., & Nosaka, K. (2015). Attenuation of indirect markers of eccentric exercise-induced muscle damage by curcumin. *European Journal of Applied Physiology*, 115(9), 1949–1957. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3170-4>
- Tipton, K. D. (2015). Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries. *Sports Medicine*, 45(S1), 93–104. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0398-4>

