



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN APLICADA Y/O DE DESARROLLO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN NUTRICIÓN DEPORTIVA

TEMA:

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CURCUMINA EN LA REDUCCIÓN DE
INFLAMACIÓN MUSCULAR POST EJERCICIO EN DEPORTISTAS DE RESISTENCIA: UNA
REVISIÓN NARRATIVA**

AUTOR:

**MANTUANO BASURTO LOURDES DELLANIRA
ABRIL LOPEZ RUTH IVANNA**

TUTOR:

MSC. KEVIN GABRIEL ARMIJO VALVERDE

MILAGRO, 2026

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejo

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Yo, Ruth Ivanna Abril Lopez, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Nutrición deportiva**, como aporte a la Línea de Investigación **Salud** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **8 de julio del 2026**



Ruth Ivanna Abril
Lopez

Time Stamping
Security Data

Ruth Ivanna Abril López

C.I.: 1805036710

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejo

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Yo, Lourdes Dellanira Mantuano Basurto, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Nutrición deportiva**, como aporte a la Línea de Investigación **Salud** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **8 de julio del 2026**



Validar Únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**LOURDES DELLANIRA
MANTUANO BASURTO**

Lourdes Dellanira Mantuano Basurto

C.I.: 1314002773

APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kevin Gabriel Armijo Valverde, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por Lourdes Dellanira Mantuano Basurto y Ruth Ivanna Abril López, cuyo temas es Efecto de la Suplementación con Curcumina en la Reducción de Inflamación Muscular Post Ejercicio en Deportistas de Resistencia: Una Revisión Narrativa, que aporta a la Línea de Investigación Salud, previo a la obtención del Grado Magíster en Nutrición Deportiva, el Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 8 de julio del 2025



Kevin Gabriel Armijo Valverde

C.I.: 1 2 0 5 1 4 0 6 6 6

FACULTAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN DEPORTIVA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los tres días del mes de julio del dos mil veintiseis, siendo las 10:59 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, MED MANTUANO BASURTO LOURDES DELLANIRA, a defender el Trabajo de Titulación denominado " EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CURCUMINA EN LA REDUCCIÓN DE INFLAMACIÓN MUSCULAR POST EJERCICIO EN DEPORTISTAS DE RESISTENCIA: UNA REVISIÓN NARRATIVA", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mgs. BURGOS GARCIA EMILY GABRIELA, Presidente(a), Mgs. SOLIS MANZANO ANGELICA MARIA en calidad de Vocal; y, LOAYZA MONTALVAN JINSOP DAVID que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	60.00
DEFENSA ORAL	38.33
PROMEDIO	98.33
EQUIVALENTE	EXCELENTE

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 12:00 horas.



Firmado electrónicamente por:
EMILY GABRIELA
BURGOS GARCIA

MGS. BURGOS GARCIA EMILY GABRIELA
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
ANGELICA MARIA
SOLIS MANZANO

MGS. SOLIS MANZANO ANGELICA MARIA
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
JINSOP DAVID
LOAYZA MONTALVAN

LOAYZA MONTALVAN JINSOP DAVID
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
LOURDES DELLANIRA
MANTUANO BASURTO

MANTUANO BASURTO LOURDES DELLANIRA
MAESTRANTE

FACULTAD DE POSGRADO
ACTA DE SUSTENTACIÓN
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN DEPORTIVA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los tres días del mes de julio del dos mil veintiseis, siendo las 10:59 horas, de forma PRESENCIAL comparece el/la maestrante, NUT. ABRIL LOPEZ RUTH IVANNA, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CURCUMINA EN LA REDUCCIÓN DE INFLAMACIÓN MUSCULAR POST EJERCICIO EN DEPORTISTAS DE RESISTENCIA: UNA REVISIÓN NARRATIVA**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mgs. BURGOS GARCIA EMILY GABRIELA, Presidente(a), Mgs. SOLIS MANZANO ANGELICA MARIA en calidad de Vocal; y, LOAYZA MONTALVAN JINSOP DAVID que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	60.00
DEFENSA ORAL	38.67
PROMEDIO	98.67
EQUIVALENTE	EXCELENTE

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 12:00 horas.



Firmado electrónicamente por:
**EMILY GABRIELA
BURGOS GARCIA**

MGS. BURGOS GARCIA EMILY GABRIELA
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**ANGELICA MARIA
SOLIS MANZANO**

MGS. SOLIS MANZANO ANGELICA MARIA
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**JINSOP DAVID
LOAYZA MONTALVAN**

LOAYZA MONTALVAN JINSOP DAVID
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**RUTH IVANNA
ABRIL LOPEZ**

ABRIL LOPEZ RUTH IVANNA
MAESTRANTE

Dedicatori a

A mi familia, por ser mi mayor apoyo y mi motor en cada etapa de este camino. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por acompañarme con paciencia y comprensión en los momentos más difíciles. Cada esfuerzo ha valido la pena gracias a ustedes. Este logro no es solo mío, también es suyo.

Lourdes Mantuano B.

A Dios y a mi familia, especialmente a mi esposo e hijos, quienes han sido mi mayor apoyo e inspiración durante este proceso académico. Gracias por su amor, paciencia, comprensión y por acompañarme en cada momento de esfuerzo y sacrificio. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, porque con su apoyo, motivación y confianza me dieron la fortaleza necesaria para seguir adelante y alcanzar esta meta profesional. Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo.

Ruth Abril L

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias por su amor, apoyo incondicional y comprensión durante todo este proceso. Gracias por ser nuestra fortaleza en los momentos difíciles y por impulsarnos a seguir adelante.

A nuestros docentes, por guiarnos con sus conocimientos y dedicación, contribuyendo significativamente a nuestra formación académica.

De manera especial, agradecemos a nuestro tutor, Msc. Kevin Gabriel Armijo Valverde, por su orientación, paciencia y acompañamiento constante en el desarrollo de este trabajo. Su apoyo y conocimientos fueron fundamentales para la culminación de esta investigación.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino e hicieron posible la finalización de este trabajo.

Resumen

El daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD) constituye una respuesta fisiológica frecuente en deportistas de resistencia sometidos a esfuerzos prolongados y repetitivos, como maratón, ciclismo, triatlón y natación. Este proceso se asocia por alteraciones estructurales en las fibras musculares, incremento de biomarcadores séricos como creatina quinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH), además de la activación de procesos inflamatorios y estrés oxidativo mediados por especies reactivas de oxígeno (ROS), aunque estos mecanismos participan en la adaptación al entrenamiento, una respuesta inflamatoria exacerbada puede ocasionar dolor muscular de aparición tardía (DOMS), fatiga, disminución del rango de movimiento (ROM) y retraso en la recuperación muscular, afectando el rendimiento deportivo, es así que la curcumina ha despertado interés por sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.

El objetivo del estudio fue analizar el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción de la inflamación muscular post ejercicio en deportistas de resistencia mediante una revisión narrativa de la literatura científica reciente, la investigación presentó un enfoque cualitativo, diseño no experimental y retrospectivo, con apoyo de análisis descriptivo, la búsqueda bibliográfica se realizó en PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, la muestra final estuvo conformada por trece estudios científicos, principalmente ensayos clínicos aleatorizados realizados en deportistas adultos.

Los resultados evidenciaron efectos favorables de la curcumina sobre la modulación de la respuesta inflamatoria y el estrés oxidativo inducido por el ejercicio, se observó disminución del DOMS, reducción del edema y mejora del ROM durante las primeras 24 a 72 horas posteriores al ejercicio, se concluye que la curcumina representa una estrategia nutricional prometedora para favorecer la recuperación muscular, aunque su efectividad depende de la dosis, formulación y timing de suplementación.

Palabras clave: daño muscular inducido por el ejercicio, curcumina, inflamación muscular, estrés oxidativo, recuperación muscular.

Abstract

Exercise-induced muscle damage (EIMD) is a common physiological response in endurance athletes exposed to prolonged and repetitive physical efforts such as marathon running, cycling, triathlon, and swimming. This process is characterized by structural alterations in muscle fibers, increased serum biomarkers including creatine kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH), as well as activation of inflammatory processes and oxidative stress mediated by reactive oxygen species (ROS). Although these mechanisms are part of the body's adaptation to training, an excessive inflammatory response may lead to delayed onset muscle soreness (DOMS), fatigue, reduced range of motion (ROM), and delayed muscle recovery, negatively affecting athletic performance. In this context, curcumin has gained attention due to its anti-inflammatory and antioxidant properties.

The aim of this study was to analyze the effect of curcumin supplementation on the reduction of post-exercise muscle inflammation in endurance athletes through a narrative review of recent scientific literature. The study followed a qualitative approach with a non-experimental and retrospective design supported by descriptive analysis. The literature search was conducted using scientific databases including PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. The final sample consisted of thirteen scientific studies, mainly randomized clinical trials conducted in adult endurance athletes.

The findings showed favorable effects of curcumin supplementation on the modulation of inflammatory response and exercise-induced oxidative stress. In addition, improvements were observed in DOMS reduction, edema control, and ROM recovery during the first 24 to 72 hours after exercise. It is concluded that curcumin represents a promising nutritional strategy to support muscle recovery; however, its effectiveness depends on factors such as dosage, formulation, and timing of supplementation.

Keywords: exercise-induced muscle damage, curcumin, muscle inflammation, oxidative stress, muscle recovery.

Lista de Figuras

Ilustración 1. Análisis comparativo del Daño Muscular inducido por el ejercicio. Fuente: Elaboración propia	144
Ilustración 2. Progresión Fisiopatológica del EIMD. Fuente: Elaboración propia	188
Ilustración 3. Mecanismos Moleculares Antiinflamatorios y Antioxidantes de la Curcumina en Deportistas	20
Ilustración 4. Dinámica de Biomarcadores Inflamatorios y Daño Muscular frente a la suplementación con curcumina. Fuente: Elaboración propia	233
Ilustración 5. Biodisponibilidad y las Formulaciones Tecnológicas de la Curcumina. Fuente: Elaboración propia	255
Ilustración 6. Reto de la Biodisponibilidad y Formulaciones tecnológicas de la curcumina.	266
Ilustración 7. Paradoja de las Dosis. Fuente: Elaboración propia	288
Ilustración 8. Dosis y Sincronización. Fuente: Elaboración propia	299
Ilustración 9. Protocolo de Acción para Atletas. Fuente: Elaboración propia	30

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción general de los estudios seleccionados.....	377
Tabla 2 Nivel de evidencia (n=13).....	388
Tabla 3 Resultados clínicos predominantes de la suplementación con curcumina (n = 13)	399
Tabla 4 Distribución de los estudios según contexto (n = 13).....	40
Tabla 5 Distribución de los estudios según el tipo de ejercicio aplicado (n = 13).....	41
Tabla 6 Timing de suplementación (n = 13).....	42
Tabla 7 Relación entre duración de la intervención y dosis utilizada (n = 13).....	43
Tabla 8 Relación entre dosis y resultado predominante (n = 13).....	44
Tabla 9 Relación entre biomarcadores evaluados y efecto clínico reportado (n = 13).....	45

Índice / Sumario

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Delimitación del problema	6
1.3 Formulación del problema	7
1.4 Preguntas de investigación	7
1.5.1 Objetivo general	7
1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6 Justificación	8
1.7 Declaración de las variables (Operacionalización)	9
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial	10
2.1 Antecedentes Referenciales	10
2.2 Marco Conceptual	13
2.3 Marco Teórico	17
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico	32
3.1 Tipo y diseño de investigación	32
3.2 La población y la muestra	32
3.3 Criterios de búsqueda	33
3.4 Los métodos y las técnicas	33
3.5 Instrumentos de recolección de datos	35
3.6 Procesamiento estadístico de la información	35
3.7 Consideraciones metodológicas	36
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados	37
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones	47

5.1	Discusión	47
5.2	Conclusiones	50
5.3	Recomendaciones	51

INTRODUCCIÓN

Dentro de los deportes de resistencia, la recuperación muscular presenta un aspecto fundamental. Los atletas que practican disciplinas como el maratón, ciclismo, triatlón o natación están sometidos a cargas de entrenamiento constantes y a exigencias fisiológicas elevadas. Estas actividades requieren un alto consumo de oxígeno un elevado estrés metabólico, lo que favorece la aparición del denominado daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD) (Thomas et al., 2016). Este tipo de daño no siempre es visible de forma inmediata, pero se manifiesta a nivel estructural y funcional, afectando la capacidad del músculo para responder de manera eficiente en sesiones posteriores.

A nivel fisiológico, el EIMD se inicia con un daño mecánico en las fibras musculares, especialmente durante las contracciones excéntricas. Este daño altera la organización de los sarcómeros y compromete la integridad del sarcolema, lo que permite la salida de enzimas intracelulares hacia la sangre, como la creatina quinasa (CK) y el lactato deshidrogenasa (LDH), consideradas indicadores del grado de lesión e inflamación muscular (Bai et al., 2023). La respuesta inflamatoria posterior al ejercicio forma parte de los mecanismos naturales de adaptación muscular frente al ejercicio físico, especialmente cuando este implica esfuerzos intensos o poco habituales. Lejos de ser un fenómeno negativo, constituye un mecanismo esencial para la eliminación del tejido dañado, la reparación muscular y los procesos de adaptación que permiten mejorar el rendimiento con el entrenamiento continuo (Fernández-Lázaro et al., 2020). Este proceso se caracteriza por la activación de una respuesta inflamatoria que incluye la liberación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la participación de vías celulares reguladas, entre ellas el factor nuclear kappa B (NF- κ B), el cual promueve la producción de citoquinas proinflamatorias como el TNF- α y la IL-6. Sin embargo cuando el proceso inflamatorio se prolonga en el tiempo, puede generar efectos contraproducentes, intensificando el daño tisular, aumentando el dolor y la fatiga, y retrasando la recuperación, lo que repercute negativamente en el desempeño deportivo (Oxley & Peart, 2024). Cuando la inflamación no se controla de manera eficiente, se produce lo que se conoce como daño muscular secundario.

Este se manifiesta clínicamente a través del dolor muscular de aparición tardía (DOMS), una sensación de rigidez, inflamación y disminución del rango de movimiento articular (ROM), que suele aparecer entre 24 y 72 horas después del ejercicio (Tanabe et al., 2019). Estas molestias, aunque frecuentes, pueden afectar la continuidad del entrenamiento, disminuir el rendimiento y aumentar el riesgo de lesiones si no se manejan adecuadamente.

Frente a este escenario, muchos deportistas recurren al uso de antiinflamatorios no esteroideos (AINES) para aliviar el dolor y acelerar la recuperación. Si bien estos fármacos pueden ser efectivos a corto plazo, su uso frecuente no está exento de riesgos. Se ha demostrado que pueden interferir con los procesos naturales de adaptación muscular, además de generar efectos secundarios a nivel gastrointestinal y sistémico (Bai et al., 2023). Por esta razón se han explorado otras estrategias que permitan modular la inflamación sin comprometer la salud ni el rendimiento del atleta.

Ante esta situación, los compuestos bioactivos de origen natural han ganado protagonismo en la investigación científica, particularmente aquellos con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes. Entre ellos, la curcumina, principal componente activo de la cúrcuma (*Curcuma longa*), ha ganado relevancia debido a su potencial para actuar sobre múltiples mecanismos fisiológicos relacionados con la inflamación y el estrés oxidativo (Fernández-Lázaro et al., 2020).

La curcumina destaca por su capacidad de intervenir en diferentes niveles de la respuesta inflamatoria. Algunas investigaciones reportan que su suplementación puede reducir la activación de procesos inflamatorios y el daño muscular inducido por el ejercicio, evidenciado por la disminución de biomarcadores como la creatina quinasa (CK), la interleucina-6 (IL-6) y otros mediadores inflamatorios. Además, se ha observado que contribuye a la reducción del dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y a la mejora del rango de movimiento, favoreciendo la recuperación funcional del atleta tras esfuerzos prolongados (Liu et al., 2024; Salehi et al., 2021).

A pesar de los beneficios que se le atribuyen, los resultados de los estudios sobre la

suplementación con curcumina no son completamente homogéneos. La eficacia observada varía entre estudios, lo que se explica, en gran medida, por factores como la dosis administrada, el tiempo de consumo, el tipo de ejercicio realizado y las características de la población estudiada (Dias, et al., 2021) A esto se suma una limitación relevante: la baja biodisponibilidad de la curcumina en su forma natural.

La curcumina presenta limitaciones importantes en su absorción, debido a su baja solubilidad en agua y a su rápida metabolización hepática, lo que reduce significativamente su biodisponibilidad y su concentración plasmática. Esta característica limita su capacidad para ejercer efectos terapéuticos en los tejidos musculares, especialmente en contextos de daño inducido por el ejercicio. En este sentido, estudios han señalado que la eficacia de la suplementación depende en gran medida del uso de formulaciones mejoradas que optimicen su absorción y distribución en el organismo (Delecroix et al., 2017; Dias, et al., 2021). Estas innovaciones han permitido obtener resultados más consistentes en algunos estudios, aunque aún no existe un consenso claro sobre las condiciones óptimas de uso.

Diversas investigaciones han mostrado que la suplementación con curcumina puede contribuir a la reducción de marcadores de daño muscular, como la CK, y a la disminución de citoquinas inflamatorias, lo que se traduce en una menor percepción de dolor y una mejor recuperación funcional (Liu et al., 2024; Salehi et al., 2021). Algunas investigaciones reportan efectos más modestos o variables, lo que evidencia la necesidad de seguir investigando y de analizar la evidencia de manera integral.

En el ámbito latinoamericano, la investigación sobre la curcumina aplicada al deporte aún es limitada, y en muchos casos se centra en estudios teóricos o experimentales que no reflejan directamente la realidad de los atletas. En Ecuador, en particular, existe una escasez de estudios enfocados en la suplementación con curcumina en deportistas, lo que representa una oportunidad para generar conocimiento que pueda ser aplicado en contextos reales.

Para ello, se adoptó un diseño metodológico de tipo no experimental y retrospectivo, basado en la recopilación de estudios científicos publicados en bases de datos reconocidas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Se consideraron principalmente

ensayos clínicos aleatorizados, lo que permite contar con evidencia de mayor rigor metodológico.

El análisis se centra en variables relevantes como los biomarcadores de daño muscular (CK, LDH), las citoquinas inflamatorias (IL-6, TNF- α), el dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y el rango de movimiento (ROM), además de aspectos relacionados con la dosis, el momento de ingesta y las formulaciones utilizadas en los diferentes estudios.

Para abordar el estudio de manera sistemática y estructurada, la presente tesis se ha organizado en cinco capítulos.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, los deportes de resistencia han experimentado un crecimiento sostenido, involucrando a un número cada vez mayor de atletas sometidos a cargas de entrenamiento elevadas y continuas, este tipo de disciplinas, caracterizadas por esfuerzos prolongados y repetitivos, generan un impacto significativo en los procesos de recuperación muscular, los cuales son determinantes para el mantenimiento del rendimiento deportivo (Thomas et al., 2016).

Uno de los principales desafíos que enfrentan estos deportistas es la adecuada gestión del daño muscular inducido por el ejercicio, el cual se asocia con la aparición de DOMS, disminución del rendimiento físico y limitaciones funcionales temporales. Estas alteraciones afectan la continuidad del entrenamiento y pueden incrementar el riesgo de sobrecarga y lesiones si no se manejan de forma adecuada (Oxley & Peart, 2024).

Frente a esta problemática, el control de la inflamación muscular se ha convertido en un eje clave dentro de la recuperación deportiva, tradicionalmente, se han empleado estrategias farmacológicas como los antiinflamatorios no esteroideos (AINES); sin embargo, su uso frecuente presenta limitaciones debido a sus posibles efectos adversos y a su interferencia en los procesos de adaptación muscular (Bai et al., 2023).

Ante esta situación, la suplementación con compuestos bioactivos de origen natural ha cobrado relevancia como una alternativa potencial dentro de la nutrición deportiva, entre estos compuestos, la curcumina ha sido ampliamente estudiada por sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, mostrando efectos en la reducción de biomarcadores de daño muscular y en la mejora de la recuperación funcional en deportistas (Liu et al., 2024; Salehi et al., 2021)

No obstante, a pesar del creciente interés en su aplicación, la evidencia científica disponible presenta resultados heterogéneos respecto a su eficacia, algunos estudios reportan mejoras significativas en la reducción de la inflamación y el dolor muscular, mientras que otros evidencian efectos limitados o variables, lo que genera incertidumbre en su aplicación práctica

(Dias, et al., 2021; Tanabe et al., 2019)

Esta variabilidad se encuentra asociada a factores como las diferencias en las dosis empleadas, el momento de administración, el tipo de ejercicio realizado y, de manera particular, la biodisponibilidad de la curcumina se ha evidenciado que su eficacia puede depender del uso de formulaciones específicas o estrategias que mejoren su absorción, como la combinación con biopotenciadores o el uso de sistemas de liberación avanzada (Delecroix et al., 2017; Schönenberger et al., 2025).

En función de lo expuesto, se plantea la necesidad de analizar de manera integral la evidencia científica disponible sobre el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción de la inflamación muscular post ejercicio en deportistas de resistencia, con el fin de establecer criterios que orienten su uso dentro de la nutrición deportiva basada en evidencia.

1.2 Delimitación del problema

La presente revisión se delimita a la población de deportistas adultos (≥ 18 hasta 64 años) que practican disciplinas de resistencia, tales como ciclismo, maratón, triatlón, natación, fútbol y crossfit. Se incluirán exclusivamente estudios científicos publicados entre 2021 y 2026, con el objetivo de garantizar la actualidad y pertinencia de la evidencia analizada.

De igual manera, se considerarán investigaciones que evalúen los efectos de la suplementación con curcumina sobre variables de la respuesta inflamatoria, DOMS y ROM. Con enfoque en estudios que aborden dosis óptimas, presentación, timing pre y post - ejercicio y formulaciones de alta biodisponibilidad (Dias, et al., 2021). Se excluirán estudios realizados en sujetos no entrenados o con condiciones clínicas no relacionadas con el contexto deportivo, población pediátrica y senil, así como aquellos que no analicen de manera específica indicadores de desempeño o recuperación en disciplinas de resistencia, orientado a conservar la especificidad y coherencia metodológica del análisis.

- **Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción de la inflamación muscular post-ejercicio en deportistas de resistencia?

- **Preguntas de investigación**

¿Cómo actúa la curcumina en los procesos inflamatorios que se producen después del ejercicio de resistencia?

¿Cómo influye la ingesta de curcumina en el daño muscular generado por el ejercicio prolongado?

¿Contribuye la suplementación con curcumina a disminuir el dolor muscular tardío y a mejorar la recuperación funcional en deportistas de resistencia?

¿Cuáles son las dosis, formas de presentación y momentos de consumo de la curcumina utilizados en deportistas de resistencia?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción de la inflamación muscular post-ejercicio en deportistas de resistencia mediante una revisión narrativa.

1.5.2 Objetivos específicos

Describir los mecanismos de acción de la curcumina en los procesos inflamatorios inducidos por el ejercicio en deportistas de resistencia.

Analizar la influencia de la suplementación con curcumina sobre el daño muscular generado por el ejercicio prolongado.

Examinar el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción del dolor muscular de aparición tardía y en mejora de la recuperación funcional en deportistas de resistencia.

Revisar las dosis, formas de presentación y momentos de consumo de la curcumina

utilizados en deportistas de resistencia.

1.6 Justificación

La presente investigación se justifica por la creciente necesidad de aportar a los nutricionistas deportivos, entrenadores, atletas y personas con intereses a fines sobre estrategias de suplementación y recuperación seguras basadas en evidencia. La curcumina destaca sobre otras moléculas debido a su capacidad para integrarse en la estructura lipídica, estabilizando la pared celular y así deteniendo la fuga de CK hacia el torrente sanguíneo, siendo así un atenuador que no bloquea la inflamación, sino que la modula y regula selectivamente las vías COX-2 y NF-kB sin detener las señales de adaptación funcional (Li, 2025). Evidenciar el impacto de todos estos beneficios en la práctica de la nutrición deportiva permitirá utilizarla como ayuda ergogénica, sustituyendo así el uso crónico de AINES, mitigando la inflamación y optimizando la recuperación del atleta.

Desde el punto de vista metodológico y práctico, la presente revisión adquiere relevancia al centrarse en los principales desafíos de la suplementación con curcumina: su baja biodisponibilidad oral, escasa solubilidad en agua, su limitada absorción intestinal y su acelerada depuración hepática (Hegde et al., 2023). Analizar los estudios más recientes y relevantes sobre esta molécula permitirá a este trabajo evaluar formulaciones tecnológicas emergentes, como fitosomas, micelas, nanopartículas lipídicas y la coadministración con piperina que han demostrado ser eficaces para contrarrestar esta barrera farmacocinética, incrementando su biodisponibilidad y facilitando un efecto terapéutico relevante en el músculo (Lehoczki et al., 2025).

Esta revisión narrativa adquiere relevancia al integrar la evidencia científica reciente disponible de los últimos cinco años, para establecer un consenso único sobre protocolos de administración, dosis estandarizadas para atenuar de manera efectiva el pico inflamatorio secundario, el DOMS y la ROM en atletas de resistencia. Al sintetizar estrategias que causen una disminución importante de marcadores inflamatorios como la CK y las citocinas inflamatorias

sin frenar los mecanismos de adaptación. La presente investigación se posiciona como un recurso actualizado de referencia, orientado a la prescripción nutricional individualizada, favoreciendo al rendimiento y la integridad física del deportista con estrés físico sostenido.

1.7 Declaración de las variables (Operacionalización)

La presente investigación no declara operacionalización de variables, ya que es una revisión narrativa de la literatura ya existente, el objetivo de esta es la exploración, síntesis y análisis críticos del estado actual del conocimiento sobre el Efecto de la Suplementación con Curcumina en la Reducción de Inflamación Muscular Post Ejercicio en Deportistas de Resistencia, en virtud de ello la metodología se basa en un enfoque interpretativo documental de la evidencia disponible, priorizando la identificación de consensos y discusión de teorías.

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

La nutrición deportiva constituye un componente fundamental en la optimización del rendimiento físico y la recuperación en atletas, especialmente en disciplinas de resistencia que se caracterizan por elevadas demandas energéticas y fisiológicas (Mielgo-Ayuso et al., 2025). En este marco, las estrategias nutricionales se orientan a cubrir los requerimientos energéticos, para favorecer las adaptaciones al entrenamiento y optimizar la recuperación posterior al ejercicio, deportes como el maratón, ciclismo, triatlón, natación y fútbol implican sesiones prolongadas de actividad física tanto en las preparaciones como en competición estas tienen un alto consumo de oxígeno con predominio del metabolismo aeróbico, lo que implica un incremento significativo en el gasto energético así como en la producción de metabolitos asociados al esfuerzo, causando fatiga y repercutiendo en el rendimiento (Thomas et al., 2016).

Fisiológicamente, estas disciplinas dependen principalmente del sistema oxidativo, donde los carbohidratos y las grasas actúan como principales sustratos energéticos durante el ejercicio prolongado; la disponibilidad de glucógeno muscular y hepático se convierte en un factor determinante del rendimiento, ya que su disminución se asocia con la aparición de fatiga y la disminución de la capacidad deportiva. De esta manera el (VO_2 máx) se posiciona como un indicador clave del rendimiento aeróbico, reflejando la capacidad del organismo para utilizar oxígeno durante el ejercicio de alta demanda y al mismo tiempo transportarlo (Jones et al., 2020)

2.1 Antecedentes Referenciales

En la última década, el paradigma de la recuperación y el rendimiento deportivo han transitado hacia la búsqueda de ayudas ergogénicas naturales por su fácil acceso, costo bajo y efectos adversos menores que mitiguen el EIMD (Liu et al., 2024; Salehi et al., 2021). Es así como, a nivel global, en países europeos y asiáticos como Japón, la evidencia científica sobre la curcumina es extensa y sustenta de forma consistente su papel como modulador clave de la cascada inflamatoria estéril (vía inhibición de NF- κ B) y del estrés oxidativo posterior al ejercicio (Dias et al., 2021; Popescu-Radu et al., 2024). Desde una perspectiva cuantitativa, diversos

metaanálisis han reportado que la suplementación estratégica con este polifenol se asocia con una atenuación significativa de biomarcadores séricos de daño fibrilar, destacando la reducción de la CK (Liu et al., 2024) y con mejoras sustanciales en la recuperación de la fuerza funcional, como el rango de movimiento y la contracción voluntaria máxima (Dias et al., 2021; Naghsh et al., 2023)

Sobre el DOMS, investigadores pioneros como (Tanabe et al., 2015) han observado de manera consistente que la curcumina disminuye la percepción subjetiva del dolor y previene la pérdida del rango de movimiento articular tras protocolos severos de contracción excéntrica. En esta misma línea, estudios prospectivos no aleatorizados, como el de (Bai et al., 2023), sugieren que la suplementación con curcumina podría contribuir a la reducción del dolor muscular y a la mejora de la recuperación postejercicio, efectos que se atribuyen a la modulación de vías de señalización intracelular y a la inhibición de citoquinas proinflamatorias.

A pesar de este amplio consenso sobre sus beneficios biológicos, la literatura internacional subraya un reto crítico que genera debates. Un estudio realizado en Francia con deportistas de élite (Delecroix et al., 2017) indica que la eficacia clínica de la curcumina en el músculo esquelético depende en gran medida de su biodisponibilidad, siendo necesario el uso de estrategias como la coadministración con biopotenciadores o el empleo de formulaciones avanzadas que mejoren su absorción y distribución en el organismo. (Dias et al., 2021) Esta barrera farmacocinética explica la alta heterogeneidad en los resultados reportados a nivel mundial, la cual es atribuida, según (Oxley & Peart, 2024), a las enormes diferencias en la duración de las intervenciones y el nivel de adaptación al entrenamiento de la población estudiada así también como las dosis empleadas que oscilan desde 150 mg hasta 5000 mg diarios que evidencia la necesidad de estandarizar los protocolos de suplementación.

Al trasladar el foco a nuestra región, cambia drásticamente siendo así que, en Latinoamérica la literatura actual sobre la curcumina se encuentra en una etapa incipiente respecto a su aplicación en la fisiología del esfuerzo, las investigaciones se concentran

principalmente en revisiones teóricas y en estudios experimentales de carácter básico o preclínico (in vitro o en modelos animales) o de la industria farmacéutica y alimentaria, destacando a Brasil como el principal y casi único contribuyente regional (Andrekowisk et al., 2024; Marmitt et al., 2016). Sin embargo, existe una evidente escasez de ensayos clínicos controlados aplicados directamente a la población deportiva, lo cual pone de manifiesto una brecha significativa para trasladar el potencial molecular de este compuesto al contexto real del entrenamiento y la competición en el atleta latinoamericano.

En contraste en Ecuador, la actividad científica sobre la curcumina en la última década ha estado desvinculada de la medicina y nutrición deportiva, centrándose casi exclusivamente en la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas, su comportamiento agronómico y sus aplicaciones en la industria alimentaria. La evidencia experimental directa sobre su suplementación oral en la población deportiva ecuatoriana es prácticamente nula, lo que evidencia una desconexión total entre los avances nutraceuticos globales y su aplicación clínica local.

Por otro lado, en Ecuador, el manejo del DOMS y la fatiga muscular ha priorizado históricamente el uso de terapias tópicas tradicionales o ungüentos, tales como la capsaicina o los extractos de jengibre. Si bien estas terapias tópicas ofrecen un alivio analgésico superficial y temporal, carecen del efecto sistémico y de la capacidad para modular la inflamación desde la raíz celular como el bloqueo del factor transcripcional NF- κ B y la reducción de especies reactivas de oxígeno que sí ofrece la curcumina oral de alta biodisponibilidad.

Todo lo anteriormente mencionado permite identificar un claro vacío en la literatura y fundamenta la necesidad de esta revisión narrativa. Al consolidar y sistematizar la evidencia internacional más reciente sobre la eficacia, la dosificación y la biodisponibilidad de la curcumina, este proyecto busca generar un marco teórico aplicable a la población deportiva ecuatoriana, sirviendo como el primer paso científico para que profesionales de la salud y el deporte a nivel nacional puedan implementar estrategias de suplementación oral seguras, estandarizadas y

superiores para la recuperación muscular.

2.2 Marco Conceptual

Deporte de Resistencia: Constituye un conjunto de disciplinas físicas que exigen esfuerzo sostenido por un periodo de tiempo, caracterizadas por una demanda alta del metabolismo aeróbico para la producción de energía (Suhett et al., 2021). La literatura científica moderna no los considera una entidad fisiológica uniforme, sino que los clasifica en función del gesto motor, la presencia de impactos y la variabilidad de la intensidad, factores que determinan la etiología y el grado de EIMD (Oxley & Peart, 2024). Para fines de intervención nutricional y deportiva, se clasifican principalmente en:

Resistencia de larga duración con impacto (ej. Atletismo, Maratón, Trail

Running): Caracterizada por contracciones repetitivas y un alto volumen de estrés mecánico que induce daño estructural grande especialmente por el daño en la línea Z y la rotura de los sarcómeros derivado de las fases de contracción excéntrica (Helder et al., 2025; Popescu-Radu et al., 2024). **Resistencia de larga duración sin impacto severo (ej. Ciclismo, Natación):** Aunque requiere una tasa extrema de consumo de oxígeno y genera estrés oxidativo, presenta un menor daño mecánico fibrilar directo por la ausencia de contracciones de impacto; sin embargo, desencadena una marcada respuesta sistémica con elevación de citoquinas como la IL-6 (Sciberras et al., 2015).

Resistencia intermitente o mixta (ej. Fútbol, Rugby): Combina el metabolismo aeróbico basal con ráfagas explosivas de alta intensidad, cambios de dirección y frenados excéntricos, lo que provoca EIMD y picos de inflamación que dificultan la recuperación de la fuerza y la potencia en los periodos de descanso (Delecroix et al., 2017).



Ilustración 1. Análisis comparativo del Daño Muscular inducido por el ejercicio. Fuente:

Elaboración propia

Daño Muscular Inducido por el Ejercicio (EIMD): Se define como la alteración microestructural transitoria de las fibras musculares que se produce como consecuencia de contracciones repetitivas, inusuales o de alta intensidad (Fernández-Lázaro et al., 2020). En el deporte de resistencia, donde el volumen de impacto es masivo, el EIMD se asocia con una disrupción mecánica directa de los sarcómeros específicamente en las líneas Z y la pérdida de integridad de la membrana celular o sarcolema (Liu et al., 2024). Este fenómeno aumenta rápidamente la permeabilidad de la célula que desencadena la filtración de enzimas intracelulares, como la CK y LDH, hacia el líquido intersticial y la circulación sistémica, convirtiéndolas en los principales biomarcadores clínicos del daño fibrilar (Beba et al., 2022; Fernández-Lázaro et al., 2020).

La progresión fisiopatológica del EIMD constituye una respuesta biológica dinámica que se despliega en cuatro estadios críticos. Inicialmente (0-24 h), el estrés mecánico, especialmente de tipo excéntrico, provoca micro-rupturas en el sarcolema y la desorganización de las líneas Z,

lo que genera un flujo masivo de calcio que activa la degradación proteica celular. Seguido, se instaura una fase inflamatoria temprana (0-48 h) mediada por la infiltración de neutrófilos y la liberación ROS y citoquinas proinflamatorias. Entre las 24 y 72 horas, la inflamación alcanza su pico con el predominio de macrófagos M1, coincidiendo con la máxima elevación de CK y la mayor intensidad del DOMS. Y a partir de las 48-96 horas, ocurre una transición hacia un fenotipo de macrófagos M2, los cuales secretan factores de crecimiento que activan las células satélites para la regeneración del tejido y la recuperación de la función contráctil (Jäger et al., 2019; Valenzuela et al., 2019).

Inflamación Estéril y Respuesta Inmunológica: A diferencia de la inflamación patológica causada por infecciones, la inflamación "estéril" es una respuesta inmunológica aguda desencadenada por el daño tisular mecánico (Li, 2025). Tras el daño inicial del ejercicio, el tejido lesionado estimula una respuesta inflamatoria que provoca el reclutamiento e infiltración de células del sistema inmunológico (Popescu-Radu et al., 2024). Los neutrófilos son los primeros en llegar para limpiar los desechos celulares, pero su acción libera proteasas y especies reactivas que pueden exacerbar el daño inicial (Pereira et al., 2026). Posteriormente, los macrófagos infiltran la zona para fagocitar los restos y crear un entorno biológico que permita la regeneración celular mediada por células satélite (Li, 2025).

Citoquinas Proinflamatorias y su Rol Dual: Las citoquinas son proteínas de señalización liberadas por células inmunitarias y por el propio tejido muscular (mioquinas) en respuesta al EIMD (Fernández-Lázaro et al., 2020). Las más predominantes son el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), la interleuquina-6 (IL-6) y la interleuquina-8 (IL-8) (Beba et al., 2022). Mientras que un pico agudo de estas moléculas es vital para la reparación, su elevación sostenida amplifica el daño sistémico (Liu et al., 2024). En esta tesis, es crucial entender el rol dual de la IL-6: durante el ejercicio actúa como una mioquina metabólica beneficiosa para la movilización de energía, pero durante la fase de recuperación, la IL-6 derivada de los macrófagos actúa como un potente agente proinflamatorio que prolonga el dolor y la inflamación (Liu et al.,

2024).

Factor Nuclear kappa B (NF-κB): Considerado el "interruptor maestro" de la respuesta inflamatoria celular (Moriyuki et al., 2010). El estrés mecánico y oxidativo activa este complejo proteico, el cual se transloca al núcleo de la célula muscular para promover la transcripción masiva de genes que codifican para más citoquinas proinflamatorias y enzimas degradantes, como COX-2 y 5-LOX (Li, 2025; Moriyuki et al., 2010). La sobreactivación del NF-κB perpetúa un ciclo vicioso de inflamación y catabolismo proteico que retrasa severamente la recuperación del atleta (Li, 2025).

Estrés Oxidativo y Especies Reactivas de Oxígeno (ROS): Es un estado de desequilibrio fisiológico donde la generación de ROS supera las defensas antioxidantes del cuerpo (Wang et al., 2021). Durante el ejercicio de resistencia, el aumento extremo del consumo de oxígeno a nivel mitocondrial genera radicales libres (Moir et al., 2023; Zeng et al., 2021). En exceso, estos radicales causan peroxidación lipídica en las membranas celulares y dañan las proteínas estructurales, lo que retroalimenta la activación del NF-κB y empeora la lesión muscular (Li, 2025)

Vía Nrf2/ARE (Factor nuclear eritroide 2): Es el principal mecanismo de defensa antioxidante endógena del organismo (Li, 2025). Cuando se activa, el Nrf2 viaja al núcleo celular y estimula la síntesis de potentes enzimas protectoras como el superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GPx) y la catalasa (Kitaoka, 2021) Potenciar esta vía es fundamental para que el músculo sobreviva al estrés oxidativo inducido por el deporte de ultra-resistencia (Li, 2025). **Dolor Muscular de Aparición Tardía (DOMS):** Es la manifestación clínica y sintomatológica más evidente del EIMD y la cascada inflamatoria (Yoon et al., 2020). El DOMS suele alcanzar su pico de intensidad entre las 24 y 72 horas posteriores a la actividad física (Popescu-Radu et al., 2024). Se produce porque las citoquinas y mediadores como las prostaglandinas sensibilizan los nociceptores (receptores del dolor) locales, lo que se traduce clínicamente en hiperalgesia mecánica, rigidez, hinchazón, pérdida de fuerza funcional y una

reducción notable del rango de movimiento (ROM) (Beba et al., 2022; Helder et al., 2025; Popescu-Radu et al., 2024).

Curcumina (Diferuloilmetano): Es un compuesto polifenólico lipofílico y el principal componente bioactivo extraído del rizoma de la planta *Curcuma longa* (Fernández-Lázaro et al., 2020). Se distingue como un agente "pleiotrópico", es decir, tiene la capacidad de actuar simultáneamente sobre múltiples dianas moleculares. A nivel deportivo, actúa frenando las vías proinflamatorias (como el NF-κB) y estimulando las vías antioxidantes tradicionales (Li, 2025).

Biodisponibilidad y Biopotenciadores: La biodisponibilidad es un término farmacocinético que define la proporción y velocidad a la que un ingrediente activo es absorbido en el intestino, ingresa a la circulación sistémica y llega al tejido diana en este caso el músculo. La gran barrera científica de la curcumina nativa es que es altamente insoluble en agua y sufre un metabolismo de primer paso hepático tan rápido que sus niveles en sangre suelen ser indetectables (Nanavati et al., 2022). Para que la curcumina ejerza sus efectos en atletas, es importante el uso de "biopotenciadores" modernos, tales como la encapsulación en liposomas, micelas, fitosomas o la adición de piperina, la cual retrasa su excreción y eleva su absorción drásticamente (Delecroix et al., 2017; Popescu-Radu et al., 2024).

2.3 Marco Teórico

Fisiopatología de la inflamación inducida por el ejercicio de resistencia. El EIMD en las disciplinas de resistencia inicia con un estrés mecánico primario que, durante los esfuerzos prolongados y las contracciones excéntricas repetitivas con gran impacto mecánico, la tensión provoca alteraciones microestructurales en las fibras musculares, dañando la arquitectura de los sarcómeros y provocando la pérdida de integridad del sarcolema (Fernández-Lázaro et al., 2020). Esta disrupción facilita la filtración de enzimas intracelulares como la CK y LDH hacia el torrente sanguíneo, las cuales actúan como los principales biomarcadores clínicos de la severidad del daño (Liu et al., 2024).

Tras esta injuria mecánica, se desencadena una segunda fase patológica: la respuesta

inmunológica y la inflamación estéril, las fibras lesionadas liberan señales moleculares de peligro que reclutan leucocitos hacia el sitio de la lesión. Los neutrófilos, al iniciar la fagocitosis de los desechos celulares, sufren un estallido respiratorio que libera grandes cantidades de ROS. Simultáneamente, el estrés mecánico y el ambiente oxidativo activan complejos proteicos clave, destacando (NF- κ B) (Li, 2025).

Este factor de transcripción se transloca al núcleo de la célula muscular promoviendo la expresión masiva de citoquinas proinflamatorias sistémicas (como TNF- α , IL-6 e IL-8) y la sobreexpresión de COX-2 (Li, 2025; Moriyuki et al., 2010). La acumulación de estas citoquinas y de las prostaglandinas derivadas de la COX-2 eleva la permeabilidad vascular y sensibiliza los nociceptores locales, culminando en el DOMS y limitando severamente la capacidad del atleta para generar fuerza (Beba et al., 2022; Popescu-Radu et al., 2024).

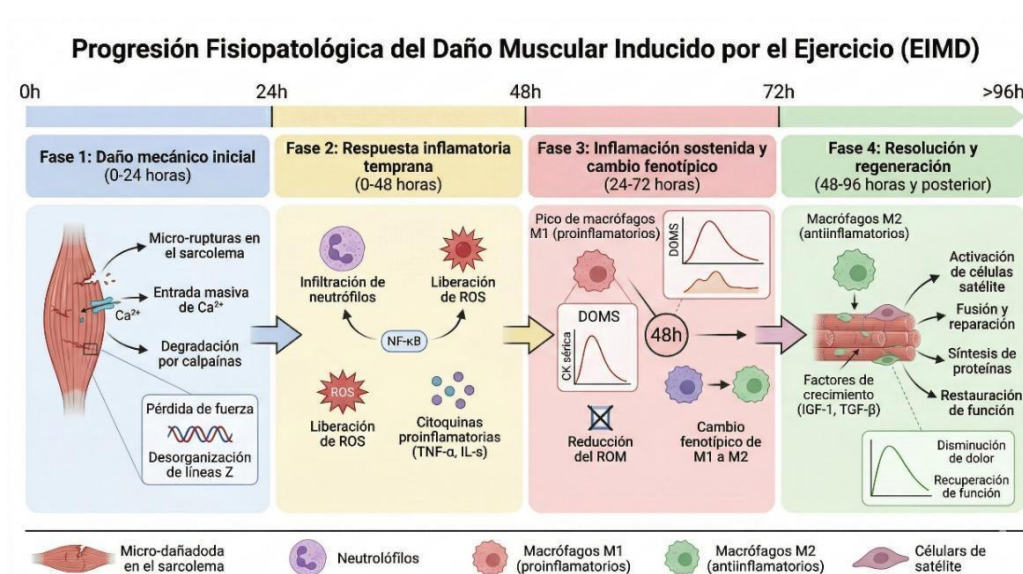


Ilustración 2. Progresión Fisiopatológica del EIMD. Fuente: Elaboración propia

Mecanismos moleculares antiinflamatorios y antioxidantes de la curcumina

Para contrarrestar esta cascada patológica que compromete el rendimiento y la recuperación del deportista, la curcumina actúa como un potente agente nutracéutico multidianas, modulando múltiples vías de señalización intracelular de manera simultánea (Fernández-Lázaro et al., 2020).

Inhibición de la vía NF- κ B y supresión de citoquinas: El mecanismo antiinflamatorio central de la curcumina radica en el bloqueo del complejo de la quinasa I κ B (IKK). Al inhibir esta enzima, la curcumina impide la degradación de I κ B y, por consiguiente, frena la translocación del dímero p65/p50 del NF- κ B hacia el núcleo celular (Li, 2025). Esta acción suprime directamente la transcripción *de novo* de mediadores inflamatorios clave, reduciendo significativamente los niveles de TNF- α , IL-1 β , IL-6 e IL-8 en el tejido muscular lesionado y en el plasma (Beba et al., 2022; Fernández-Lázaro et al., 2020). Al limitar la expresión de estas citoquinas, la curcumina previene el catabolismo y atenúa la inflamación secundaria exagerada sin bloquear los procesos necesarios para la regeneración tisular mediada por células satélite (Liu et al., 2024).

Modulación de las vías enzimáticas COX-2 y 5-LOX: A diferencia de otros fármacos antiinflamatorios que pueden generar efectos adversos a nivel gástrico, la curcumina inhibe de manera directa y segura la expresión de la COX-2 y la 5-LOX (Moriyuki et al., 2010). Al inhibir estas enzimas, disminuye drásticamente la síntesis de prostaglandinas proinflamatorias como la PGE2 y leucotrienos, moléculas directamente responsables del edema vascular y la hipersensibilización de los nervios locales, lo que explica su eficacia en la reducción del DOMS (Li, 2025; Popescu-Radu et al., 2024).

Atenuación del Estrés Oxidativo y activación de la vía Nrf2: Durante el ejercicio de ultra-resistencia, la producción mitocondrial de ROS a menudo supera las defensas antioxidantes del cuerpo. La curcumina posee una estructura molecular que le permite actuar como un eliminador (*scavenger*) directo de radicales libres (Takahashi et al., 2014). No obstante, su efecto antioxidante más robusto se da a nivel epigenético al activar el factor Nrf2 (Li, 2025). Esta activación incrementa la síntesis de defensas antioxidantes endógenas, elevando los niveles de enzimas protectoras como el SOD, la catalasa y la GPx, restaurando la homeostasis redox y protegiendo al sarcolema de la peroxidación lipídica (Li, 2025; Takahashi et al., 2014).

MECANISMOS MOLECULARES ANTIINFLAMATORIOS Y ANTIOXIDANTES DE LA CURCUMINA EN DEPORTISTAS

Para contrarrestar la cascada patológica y proteger el rendimiento y la recuperación

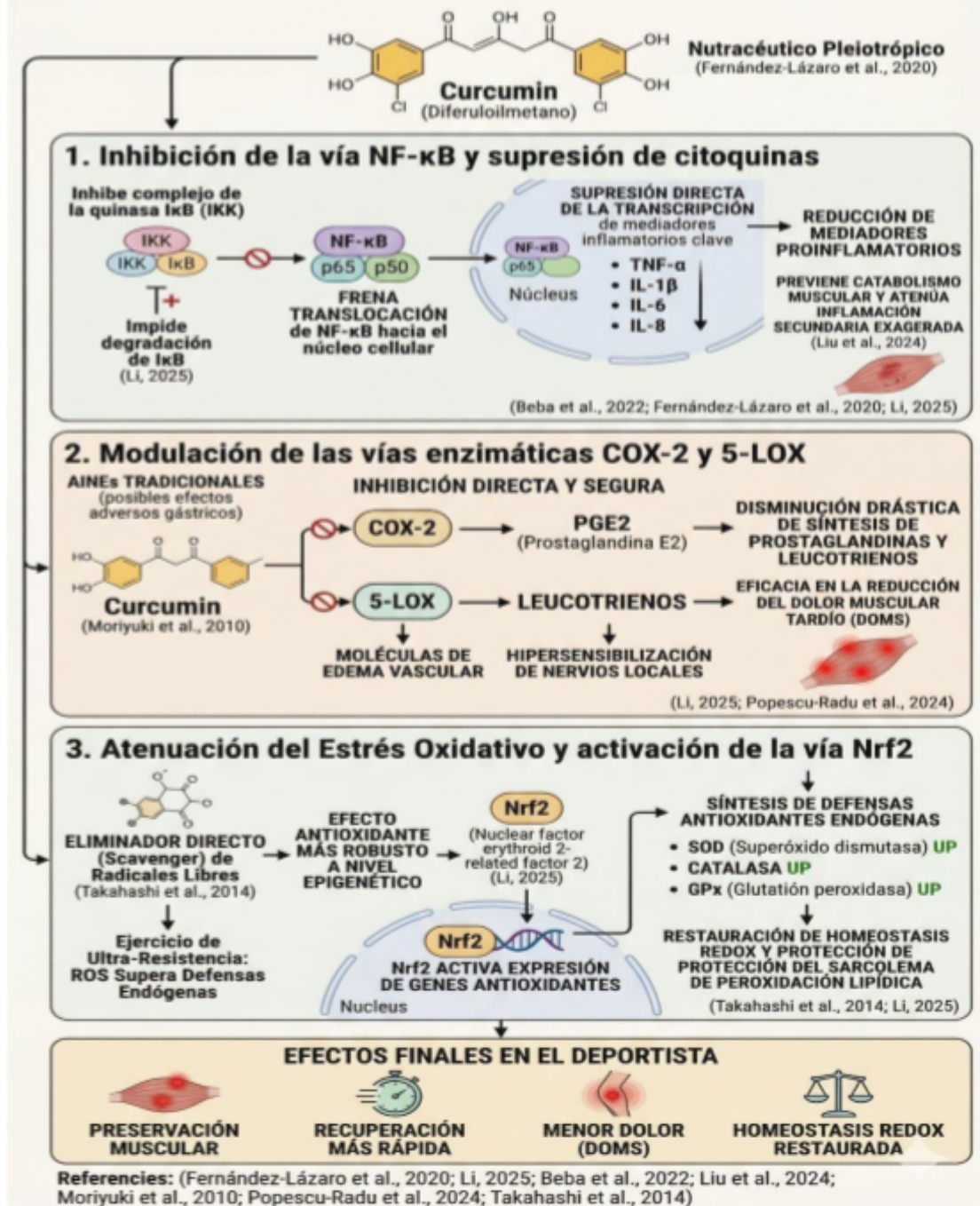


Ilustración 3. Mecanismos Moleculares Antinflamatorios y Antioxidantes de la Curcumina en Deportistas. Fuente: Elaboración propia

Biomarcadores del daño muscular, inflamación y estrés oxidativo en el ejercicio frente a la Suplementación con Curcumina

La evaluación de la eficacia de la curcumina en el deporte de resistencia requiere el análisis de marcadores bioquímicos específicos que reflejen tanto el daño estructural de la fibra muscular como la magnitud de la inflamación sistémica (Fernández-Lázaro et al., 2020). La literatura científica clasifica estos biomarcadores en enzimas de daño muscular, citoquinas proinflamatorias y proteínas de fase aguda:

Daño muscular

CK y LDH: La CK es el marcador bioquímico más reconocido del daño muscular; sus niveles elevados en el torrente sanguíneo indican un daño directo en el sarcolema y son proporcionales a la severidad de la lesión (Beba et al., 2022). Diversos metaanálisis han demostrado de manera consistente que la suplementación con curcumina impacta significativamente en la reducción de los niveles de CK en sangre (Liu et al., 2024). En ensayos clínicos con EIMD, la curcumina biodisponible ha logrado reducir el aumento de CK hasta en un 48% respecto a los grupos placebo (McFarlin et al., 2016). Notablemente, se ha evidenciado que la suplementación con dosis bajas (< 0.5 g o 500 mg) administradas inmediatamente después del ejercicio resulta altamente efectiva para disminuir los picos de CK, protegiendo la integridad de la membrana celular (Liu et al., 2024).

Inflamación

TNF- α : Es una de las citoquinas proinflamatorias más potentes y de rápida respuesta, posterior a la lesión muscular, el TNF- α activa el sistema ubiquitina-proteasoma en las células musculares, promoviendo la degradación de proteínas para eliminar el tejido dañado (Li, 2025). La curcumina, al inhibir la vía de señalización del NF- κ B, suprime la transcripción de TNF- α (Nanavati et al., 2022). Estudios utilizando curcumina biodisponible (ej. 400 mg/día) han reportado reducciones significativas del 25% en los niveles séricos de TNF- α durante los días posteriores al esfuerzo físico extenuante (McFarlin et al., 2016).

IL-6 y su Rol Dual: La IL-6 es un mensajero celular versátil que durante el ejercicio, el músculo la libera como una "mioquina" beneficiosa que estimula respuestas metabólicas e inmunológicas; sin embargo, horas después, los macrófagos secretan IL-6 como agente proinflamatorio (Nanavati et al., 2022). Los metaanálisis actuales indican que la suplementación con curcumina reduce sutil pero significativamente los niveles sistémicos de IL-6 (Liu et al., 2024). De forma fascinante, la evidencia sugiere que la curcumina modula la IL-6 de manera dependiente del tiempo: permite el pico inicial fisiológico necesario para la adaptación y disminuye sus concentraciones a las 24 horas post ejercicio, facilitando la resolución de la inflamación sin obstaculizar la señalización adaptativa (Nicol et al., 2015).

IL-8 e IL-1 β : La IL-8 funciona principalmente como una quimiocina que atrae a los neutrófilos hacia el músculo dañado (Nanavati et al., 2022). La curcumina ha demostrado reducir los niveles de IL-8 de forma bastante consistente, logrando reducciones de hasta un 21%, lo que se traduce en una menor acumulación de neutrófilos y, en consecuencia, en una disminución del daño muscular secundario causado por el estrés oxidativo local (McFarlin et al., 2016). Por su parte, la IL-1 β , que también perpetúa la respuesta de fase aguda, ve reprimida su biosíntesis debido al bloqueo que la curcumina ejerce sobre el NF- κ B (Fernández-Lázaro et al., 2020).

Fase aguda y estrés oxidativo

CRP y Marcadores de Estrés Oxidativo: La inflamación severa estimula al hígado para liberar proteínas de fase aguda, como la CRP. Los ensayos clínicos en mujeres y hombres físicamente activos confirman que la suplementación con curcumina reduce significativamente los niveles de CRP, así como la peroxidación lipídica medida a través del malondialdehído (MDA) (Salehi et al., 2021). Al mismo tiempo, la curcumina aumenta la Capacidad Antioxidante Total (TAC) y promueve la actividad de enzimas como la SOD y la GPx, restaurando la homeostasis redox del atleta tras el esfuerzo de resistencia (Ghojzadeh et al., 2022; Takahashi et al., 2014).

Dinámica de los Biomarcadores Inflamatorios y de Daño Muscular (EIMD) frente a la Suplementación con Curcumina

Evaluación de marcadores bioquímicos de daño muscular y magnitud de la inflamación sistémica tras el ejercicio inducido (EIMD) en el deporte de resistencia.

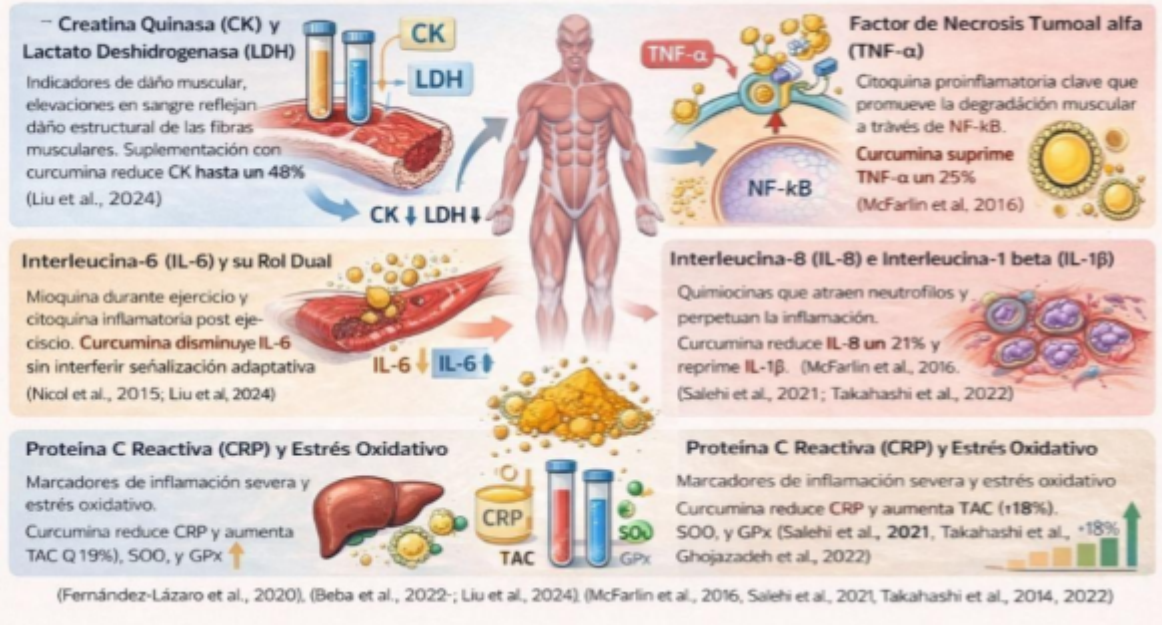


Ilustración 4. Dinámica de Biomarcadores Inflamatorios y Daño Muscular frente a la suplementación con curcumina. Fuente: Elaboración propia

El Reto de la Biodisponibilidad y las Formulaciones Tecnológicas de la Curcumina

A pesar de los potentes efectos antiinflamatorios y antioxidantes de la curcumina demostrados en la literatura científica, su principal limitación para la aplicación clínica en el deporte es su baja biodisponibilidad oral (Li, 2025). La curcumina nativa en polvo presenta una pobre solubilidad en agua y una rápida metabolización en el intestino y depuración en hígado, lo que se conoce como metabolismo de primer paso. Durante este proceso (específicamente en la fase II de su metabolismo), la curcumina sufre una rápida glucuronidación y sulfatación, convirtiéndose en conjugados inactivos que se excretan velozmente a través de la vesícula biliar y el organismo (Nanavati et al., 2022). Esto significa que la ingesta de altas dosis de curcumina en estado natural resulta en concentraciones de curcumina libre bioactiva que a menudo son indetectables en el plasma sanguíneo, impidiendo que el compuesto alcance el tejido muscular

dañado para ejercer su efecto terapéutico (Nanavati et al., 2022; Popescu-Radu et al., 2024).

Para superar esta profunda barrera farmacocinética, la industria nutracéutica y deportiva ha desarrollado diversas formulaciones tecnológicas diseñadas para mejorar la absorción, la permeabilidad y la circulación sistémica del compuesto (Helder et al., 2025; Popescu-Radu et al., 2024). Una de las estrategias más establecidas y estudiadas es la coadministración con piperina, un alcaloide derivado de la pimienta negra (Karimi et al., 2025). La piperina actúa como un potente inhibidor de la glicoproteína P y de la enzima hepática UDP-glucuronosiltransferasa, lo que retrasa significativamente la excreción de la curcumina y es capaz de incrementar su biodisponibilidad sistémica hasta en un 2000%, logrando un aumento de 20 veces respecto a su forma nativa (Delecroix et al., 2017; Karimi et al., 2025). Además de los biopotenciadores como la piperina, los sistemas de administración avanzados mediante nanotecnología y formulaciones lipídicas han revolucionado su aplicación en atletas (Li, 2025). Destacan principalmente:

Fitosomas (ej. Meriva®): Este sistema combina curcuminoides con lecitina de soja (fosfatidilcolina) en una proporción de 1:2. Al aprovechar la afinidad de los fosfolípidos con las membranas celulares del cuerpo, los fitosomas evitan la degradación gastrointestinal mayor manteniendo una estabilidad de hasta el 92% en comparación con la mezcla de curcuminoides no formulada (Darmonkow et al., 2025; Nanavati et al., 2022).

Nanopartículas Coloidales (ej. Theracurmin®): Utiliza goma ghatti para dispersar la curcumina en nanopartículas, creando un complejo soluble en agua que logra un aumento de 27 veces en el área bajo la curva (AUC) de concentración plasmática (Nanavati et al., 2022).

Micelas Líquidas (ej. NovaSol®): Emplea un surfactante no iónico (Tween 80) que permite a la curcumina escapar de la separación de fases en el tracto digestivo, logrando una absorción masiva y una biodisponibilidad relativa hasta 185 veces superior a la forma nativa (Menezes & Potrick Stefani, 2026; Nanavati et al., 2022).

Partículas Lipídicas Sólidas (ej. Longvida®): Mezcla la curcumina con lípidos sólidos, fosfolípidos y antioxidantes como la vitamina C, lo que le otorga una alta estabilidad y una

excelente capacidad para llegar a los tejidos diana (McFarlin et al., 2016).

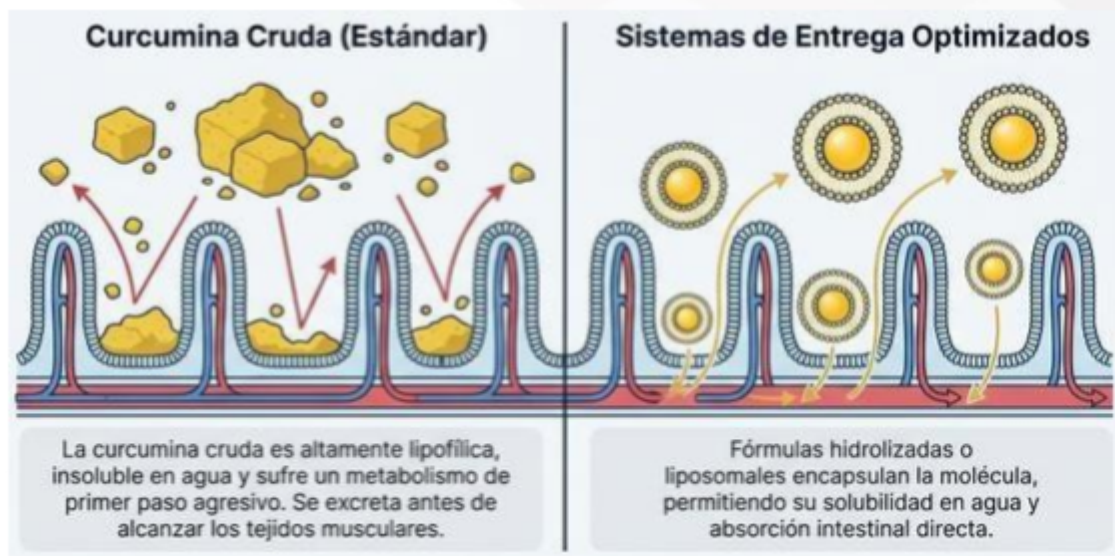


Ilustración 5. Biodisponibilidad y las Formulaciones Tecnológicas de la Curcumina.

Fuente: Elaboración propia

El EIMD en deportes de resistencia, la elección de la formulación suplementaria es un factor especialmente relevante para el éxito de la intervención (Li, 2025; Popescu-Radu et al., 2024). La literatura confirma que solo mediante el uso de estas tecnologías de encapsulación o biopotenciadores, dosis orales relativamente bajas y seguras, en el rango de 150 mg a 1500 mg diarios, son capaces de lograr los niveles plasmáticos necesarios para modular las vías inflamatorias a nivel intracelular (Fernández-Lázaro et al., 2020). Estas formulaciones específicas son las que han demostrado consistentemente en ensayos clínicos atenuar la infiltración de citoquinas como el TNF- α y la IL-8, disminuir los picos de CK tras el esfuerzo y, en última instancia, promover una mejor recuperación funcional y una reducción del DOMS en los atletas (Liu et al., 2024; McFarlin et al., 2016).

EJERCICIO DE ULTRA-RESISTENCIA

↓

DAÑO MUSCULAR

↓

ESTRÉS OXIDATIVO

↓

CURCUMINA NATIVA

↓

SÍNTESIS:

- Pobre solubilidad en agua
- Rápida cataálalazal
- SODMUSA (SOD)
- Catalasa
- Glutación peroxidasa (GPx)
- GPx
- Superóxido defensas antioxidantes
- Antioxiidánicas

(Beba txi et al., 2024)

↓

EJECUTO TERAPÉUTICO EFECTIVO CON FORMA BIODISPONIBLE

↓

RESTAURACIÓN DE HOMEOSTASIS REDOX

↓

PROTECCIÓN DEL SARCÓLEMA

↓

EJECUTO TERAPÉUTICO CON FORMA NATIVA

↓

Modulación de las vías enzimáticas COX-2 y 5-LOX

↓

Disminuye síntesis de prostaglandinas proinflamatorias (PGE2)

↓

REDUCCIÓN DE EDEMA Y DOLOR MUSCULAR (DOMS)

↓

Supera defensas antioxidantes

(Takahashi et al., 2014)

↓

ESTRÉS OXIDATIVO

↓

CURCUMINA

↓

Eliminador directo de radicales libres

↓

ACTIVACIÓN DEL FACTOR Nrf2

(Efecto antioxidante robusto)

(Takahashi et al., 2014, Li, 2025)

↓

Atenuación del Estrés Oxidativo y activación de la vía Nrf2

↓

Supresión de transcripción de mediadores inflamatorios

↓

TNF-α, IL-1β, IL-6, IL-8

↓

REDUCCIÓN DE CATABOLISMO MUSCULAR

↓

Inhibición de la vía NF-κB y supresión de citoquinas

↓

BLOQUEO DE LA QUINASA IKK

↓

Degradación de IκB

↓

Frena translocación del dímero p65/p50 de NF-κB

↓

Hacia el núcleo celular

↓

Núcleos

(Fernández-Lázaro et al., 2020; Li, 2025; Beba et al., 2022)



Protocolos de Prescripción

A pesar de la amplia evidencia sobre los beneficios biológicos de la curcumina, uno de los mayores desafíos en la nutrición deportiva ha sido la falta de un consenso universal sobre su administración debido a la amplia heterogeneidad metodológica de los estudios clínicos. Sin embargo, las revisiones sistemáticas y metaanálisis más recientes han permitido establecer directrices claras y basadas en evidencia para optimizar su prescripción en el manejo del EIMD y el DOMS.

Dosis Óptima y el "Efecto Techo": varios los ensayos clínicos han utilizado dosis que oscilan entre los 90 mg y los 5000 mg diarios (Nanavati et al., 2022) así como el ensayo de Helder et al. (2025) demostraron una relación dosis-respuesta no lineal en la suplementación con curcumina, donde una dosis moderada (750 mg) optimiza la recuperación funcional, mientras que dosis más elevadas (1500 mg), pese a reducir en mayor medida marcadores de daño muscular y estrés oxidativo, pueden retrasar la recuperación del rendimiento. No obstante, el metaanálisis de Fernández-Lázaro et al.(2020) estableció que dosis de entre 150 mg y 1500 mg al día son seguras y altamente eficaces para modular las citoquinas proinflamatorias y reducir el EIMD, siempre y cuando se utilicen formulaciones de alta biodisponibilidad como fitosomas o nanopartículas.

Aún más revelador es el reciente metaanálisis de Liu et al. (2024), el cual demostró que las dosis bajas (menores a 0.5 g o 500 mg diarios) generan los efectos más pronunciados en la reducción de la CK. Los autores postulan la existencia de un posible "efecto techo", sugiriendo que cuando la dosis supera los 1.5 g diarios, la curcumina podría interactuar con vías de señalización competitivas, reduciendo su efectividad específica para aliviar el EIMD.

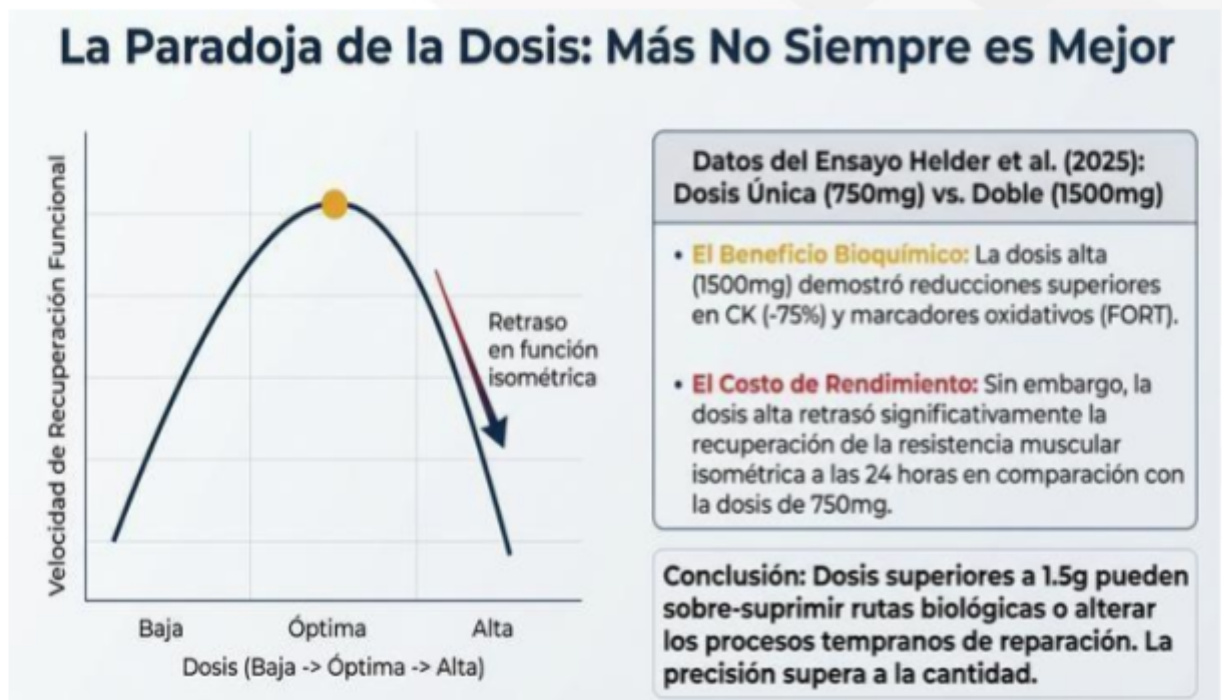


Ilustración 7. Paradoja de las Dosis. Fuente: Elaboración propia

Sincronización de la Ingesta (Timing): Un factor determinante en la eficacia de la curcumina como ayuda ergogénica es el *timing* respecto al esfuerzo físico dado que el momento exacto de la suplementación es un factor crítico que determina el éxito. Ensayos clínicos controlados han contrastado los regímenes de ingesta pre-ejercicio frente a los de post-ejercicio. Investigaciones como las de Tanabe et al. (2019) evidenciaron que la administración de curcumina (180 mg/día) iniciada inmediatamente después del ejercicio excéntrico produjo resultados clínicos superiores en la recuperación del ROM y en la disminución del dolor percibido, en comparación con los protocolos que solo incluyeron suplementación previa al esfuerzo. Sin embargo, desde una perspectiva de aplicación deportiva, estudios clínicos sugieren que la ingesta de curcumina inmediatamente después del ejercicio es la estrategia temporal más efectiva para atenuar los picos de CK y la IL-6 en el torrente sanguíneo (Liu et al., 2024; Tanabe et al., 2019).

Para conciliar estos hallazgos, la literatura actual sugiere un enfoque mixto basado en el objetivo clínico (Liu et al., 2024; Nanavati et al., 2022):

Para atenuar el DOMS y proteger el ROM: Se recomienda un régimen preventivo de baja dosis iniciado varios días antes del evento para pre-activar las vías antioxidantes.

Para frenar el daño estructural (CK) y la inflamación aguda (IL-6): Se requiere obligatoriamente una dosis de suplementación administrada de forma inmediata al finalizar el esfuerzo físico.

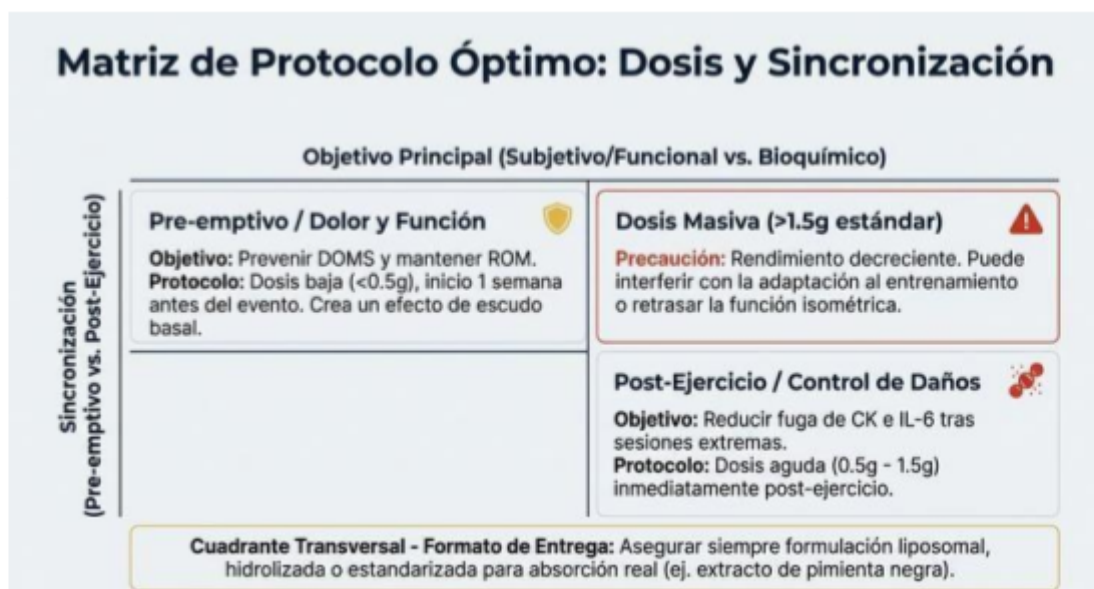


Ilustración 8. Dosis y Sincronización. Fuente: Elaboración propia

Duración de la Intervención y Régimen Propuesto. Para los deportes de resistencia (como maratón, *trail running* o ciclismo prolongado), el protocolo de prescripción más respaldado por la evidencia clínica reciente consiste en una fase de "pre-carga" y una fase de "mantenimiento en la ventana de recuperación". Autores como McFarlin et al. (2016) y las directrices extraídas por Nanavati et al. (2022) sugieren iniciar la suplementación con curcumina bio-optimizada (ej. 400 mg a 500 mg diarios) al menos 2 a 7 días antes de la competición.

Esta dosis debe mantenerse el día del evento (inmediatamente post-ejercicio) y extenderse de forma ininterrumpida durante las 72 a 96 horas posteriores (3 a 4 días post-esfuerzo). Este margen de tiempo cubre exactamente el pico patológico de la cascada inflamatoria (infiltración de leucocitos y picos de IL-8 y TNF- α) y el umbral máximo del DOMS,

garantizando una reincorporación temprana y segura del atleta a sus entrenamientos de calidad.



Ilustración 9. Protocolo de Acción para Atletas. Fuente: Elaboración propia

Protección contra el Síndrome Gastrointestinal del Ejercicio (El Eje Intestino-Músculo) En los deportes de resistencia y ultra-resistencia, la redistribución masiva del flujo sanguíneo hacia el tejido muscular activo provoca invariablemente una isquemia esplácnica transitoria. Este fenómeno de estrés desencadena el denominado "síndrome gastrointestinal del ejercicio", caracterizado por náuseas, calambres y un aumento patológico de la permeabilidad de la barrera intestinal (*leaky gut*), lo cual facilita la translocación de endotoxinas bacterianas sistémicas que exacerban la respuesta inflamatoria y comprometen gravemente la recuperación del atleta (Ribichini et al., 2023).

Recientemente, los suplementos funcionales como la curcumina han ganado gran atención en la nutrición deportiva por su capacidad para actuar a nivel de la mucosa intestinal, ofreciendo soporte antioxidante y antiinflamatorio directo en el tracto digestivo.(Ribichini et al., 2023). La evidencia demuestra que la suplementación con curcumina atenúa significativamente el daño a la barrera gastrointestinal durante el estrés térmico y el esfuerzo prolongado, reduciendo las respuestas de tensión sistémica (Cao et al., 2020). Este mecanismo biológico

dual que protege la permeabilidad del intestino al tiempo que reduce el daño del tejido muscular posiciona a la curcumina como una estrategia nutricional potencialmente superior a los AINES, los cuales son frecuentemente abusados por los atletas a pesar de generar efectos secundarios adversos a nivel del sistema nervioso central y del tracto gastrointestinal (Nanavati et al., 2022). **Recuperación de la Función Muscular: MVC y ROM**

El EIMD provoca una reducción transitoria en la capacidad del músculo para generar fuerza y restringe el ROM debido al edema y la rigidez fibrilar (Nanavati et al., 2022). Clínicamente, el dolor y la inflamación alteran la cinemática de las articulaciones y disminuyen la producción de fuerza, lo cual suele evaluarse de forma objetiva mediante pruebas de Contracción Voluntaria Máxima (MVC) (Oxley & Peart, 2024).

En este sentido, metaanálisis recientes han demostrado que la suplementación con curcumina no solo alivia la percepción subjetiva del dolor, sino que protege la función mecánica del músculo (Beba et al., 2022; Liu et al., 2024). Se ha evidenciado que las intervenciones con curcumina mejoran significativamente la recuperación del ROM y previenen caídas bruscas en la MVC en los días posteriores a protocolos de contracción excéntrica severa (Beba et al., 2022; Nanavati et al., 2022). Esta preservación de la integridad funcional permite a los atletas de resistencia retomar sus entrenamientos de alta intensidad de forma más temprana y segura, consolidando a este polifenol como un verdadero protector del rendimiento mecánico (Li, 2025).

3 CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo con matices cuantitativos, dado que se orienta al análisis, interpretación y síntesis crítica de la evidencia científica disponible, así como a la organización de datos mediante estadísticas descriptivas como promedios, rangos y frecuencias sobre la suplementación con curcumina y su efecto sobre la inflamación muscular post ejercicio en deportistas de resistencia.

El presente estudio se desarrolla bajo un diseño de revisión narrativa, de tipo no experimental y retrospectivo, ya que no se manipulan variables ni se interviene directamente en la población de estudio, sino que se analizan investigaciones previamente publicadas, lo cual permite integrar, comparar y discutir resultados provenientes de diferentes investigaciones, con el fin de construir una visión global, actualizada y crítica del estado del conocimiento en torno a la temática planteada. Este tipo de diseño resulta pertinente debido a la heterogeneidad existente en los estudios relacionados con dosis, formulaciones y protocolos de suplementación con curcumina.

3.2 La población y la muestra

La población de estudio estuvo constituida por artículos científicos publicados en revistas indexadas en bases de datos reconocidas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, enfocados en la suplementación con curcumina en el contexto del ejercicio físico, el daño muscular inducido por el ejercicio en deportistas de resistencia.

La muestra final estuvo conformada por trece estudios científicos seleccionados mediante criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, garantizando la pertinencia, actualidad y calidad metodológica de la evidencia analizada. Entre estos se incluyeron ensayos clínicos con diversos diseños metodológicos, como ensayos clínicos aleatorizados doble ciego (RCT), estudios controlados longitudinales, ensayos cruzados, estudios piloto, diseños placebo-controlados, así como estudios no aleatorizados y de simple ciego. Adicionalmente, se incorporaron cinco revisiones sistemáticas publicadas en los

últimos cinco años como apoyo teórico para fortalecer el análisis, pero estas no fueron consideradas dentro del análisis estadístico.

Los artículos seleccionados provienen de revistas científicas indexadas de reconocido prestigio, entre ellas Oxidative Medicine and Cellular Longevity, Nutrition & Health, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine y Journal of the International Society of Sports Nutrition.

3.3 Criterios de búsqueda

- Estudios publicados a partir del año 2021 hasta la actualidad.
 - Investigaciones realizadas en seres humanos.
 - Participantes atletas o deportistas de resistencia, con edades entre 18 y 64 años.
 - Estudios relacionados con ejercicio prolongado o disciplinas de resistencia.
 - Idioma inglés/español
 - Artículos que evalúen el efecto de la curcumina sobre:
 - Inflamación muscular.
 - Biomarcadores (CK, IL-6, TNF- α , entre otros).
 - DOMS.
 - ROM.
 - Ensayos clínicos (incluidos en el análisis principal) y revisiones sistemáticas y metaanálisis (considerados como apoyo teórico).

3.4 Los métodos y las técnicas

Para el desarrollo del presente estudio se emplearon los siguientes métodos teóricos:

Método analítico-sintético: permitió descomponer la información científica en sus elementos esenciales (mecanismos fisiológicos, efectos clínicos, dosis, etc.) y posteriormente integrarlos en una síntesis coherente.

Método inductivo-deductivo: facilitó la interpretación de hallazgos particulares para generar conclusiones generales, así como la contrastación de teorías existentes con la evidencia recopilada.

Método histórico-lógico: permitió analizar la evolución del conocimiento científico sobre la curcumina y su aplicación en la nutrición deportiva.

Como técnica principal se utilizó la revisión documental, centrada en la recopilación, análisis y sistematización de literatura científica relevante.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda de información se realizó en bases de datos científicas reconocidas, tales como:

- PubMed
- Scopus
- Web of Science
- Google Scholar

Se emplearon descriptores en inglés combinados mediante operadores booleanos (AND, OR), entre los cuales destacan:

- ("curcumin" OR "curcumin supplementation")
- ("curcumin" OR "curcumin supplementation") AND ("exercise-induced muscle damage" OR EIMD) AND ("inflammation" OR "oxidative stress")
- ("curcumin") AND ("muscle recovery") AND ("endurance athletes" OR "trained individuals")
- "curcumin" AND "exercise-induced muscle damage" AND inflammation AND "muscle recovery" AND "endurance athletes"
- ("curcumin") AND ("exercise") AND ("muscle damage" OR "DOMS") AND ("inflammatory response" OR "oxidative stress")
- ("muscle inflammation" OR "post-exercise inflammation" OR "inflammatory response") AND ("curcumin") AND ("CK" OR "creatine kinase" OR "IL-6" OR "TNF-alpha" OR "CRP")

Adicionalmente, se utilizaron herramientas digitales de apoyo como Elicit y NotebookLM, con el fin de optimizar la identificación preliminar de literatura relevante. No obstante, todos los artículos seleccionados fueron verificados y analizados directamente en

sus fuentes originales, garantizando la validez y confiabilidad de la información.

3.5 Instrumentos de recolección de datos

Para la organización y análisis de la información se elaboró una matriz de extracción de datos elaborada en Microsoft Excel versión 2603, en la cual se sistematizaron los siguientes criterios:

- Autor principal
- Año de publicación
- Tipo de estudio
 - Población analizada
 - Dosis de curcumina utilizada
 - Formulación de curcumina empleada
 - Duración de la intervención
 - Tipo de ejercicio
 - Timing
 - Diferentes criterios relacionados con el daño muscular y el rendimiento físico como DOMS, ROM, biomarcadores (IL-6, TNF- α , CK, LDH).
 - Principales resultados y conclusiones

Este instrumento permitió comparar de manera estructurada los hallazgos de los diferentes estudios incluidos.

3.6 Procesamiento estadístico de la información

El análisis de la información se realizó mediante un enfoque cualitativo de síntesis narrativa, orientado a identificar patrones, tendencias, coincidencias y discrepancias entre los estudios revisados.

Se llevó a cabo un proceso de:

- Lectura crítica de los artículos seleccionados
- Clasificación temática de la evidencia
- Comparación de resultados según dosis, formulaciones y protocolos

- Interpretación contextualizada de los hallazgos.

Además, se emplearon estadísticas descriptivas, incluyendo promedios, rangos y porcentajes, mediante el uso de Microsoft Excel (versión 2603), como herramienta complementaria para la organización y síntesis de la información. Esto permitió resumir variables relevantes como las dosis, el timing de la suplementación y la frecuencia de los resultados reportados.

La información fue sistematizada en una base de datos estructurada que incluyó las siguientes variables: autor y año de publicación, población de estudio, tamaño de muestra (n), diseño metodológico, dosis administrada, tipo de formulación, duración de la intervención, timing de la suplementación, tipo de ejercicio, contexto del estudio, marcadores evaluados, así como los principales resultados bioquímicos, de rendimiento y clínicos.

3.7 Consideraciones metodológicas

Dado que se trata de una revisión narrativa, no se realizó una operacionalización de variables en sentido experimental. Sin embargo, el estudio se desarrolló bajo criterios de rigurosidad científica, validez y confiabilidad, priorizando fuentes indexadas y de alto impacto. Adicionalmente, el proceso de selección y análisis de la literatura se tomó como referencia una estructura inspirada en PRISMA, para transparentar el proceso de búsqueda sin constituir una revisión sistemática formal.

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

El presente capítulo tiene como finalidad analizar e interpretar los resultados obtenidos a partir de los trece estudios científicos incluidos, de los cuales corresponden a investigaciones primarias que evaluaron el efecto de la suplementación con curcumina sobre la inflamación muscular post ejercicio en deportistas de resistencia.

Tabla 1 Descripción general de los estudios seleccionados

Autor	Año	Revista	Diseño	Población	Formulación
Bańkowski	2022	Redox Report	RCT	30	Curcumina + piperina
Sinaga	2022	International Journal of Health and Pharmaceutical	Paralelo (no claro RCT)	20	Jamu Kunyit Asam (cúrcuma)
Tanoli	2022	MedRxiv	RCT doble ciego	28	AQUATURM (Extracto hidrosoluble de cúrcuma)
Thanawala	2022	Nutrition Health and	RCT doble ciego	30	Extracto dispersable en agua (TurmXTRA 60N)
Tanabe	2024	J Nutr Sci Vitaminol	Cruzado RCT	15	Curcumina
Helder	2025	Physiological Reports	RCT doble ciego	34	Liposomal (Zooki)
Salehi	2021	International Journal of Preventive Medicine	RCT doble ciego	80	Extracto encapsulado
Bai	2023	Frontiers in Nutrition	Controlado longitudinal	28	Herbal (Jiang Huang)
Clayton	2023	Frontiers in Nutrition	No cegado	24	Natural + piperina (The Turmeric Co.)
Schönenberger	2025	European Journal of Sport Science	Cruzado RCT	44	Curcuminoides

Juniarsyah	2025	International Journal of Human Movement and Sports Sciences	RCT ciego	doble	16	Combinada (Ganesha Fit)
Juniarsyah	2024	International Journal of	RCT ciego	doble	16	Combinada (Ganesha Fit)

		Human Movement and sports Sciences			
Choi	2023	Phys Act Nutr	Piloto, cruzado, placebo-cont rolado, no aleatorizado, simple ciego	6	Theracurumin

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 1, presenta una síntesis de los estudios incluidos, en la que se evidencia un predominio de ensayos clínicos aleatorizados, en su mayoría de tipo doble ciego, lo que aporta mayor solidez metodológica y fortalece la validez interna de los resultados analizados. Además, se incluyeron diseños cruzados, los cuales permiten reducir la variabilidad interindividual y mejorar la comparación entre intervenciones.

Respecto a las estrategias de suplementación, se observa heterogeneidad en las formulaciones de curcumina utilizadas, incluyendo combinaciones con piperina, formulaciones mejoradas como liposomales y Theracurumin, extractos hidrosolubles y preparaciones herbales, lo que refleja la diversidad de enfoques presentes en la investigación actual.

Respecto al tamaño muestral, la población promedio fue de aproximadamente 30 participantes por estudio. Sin embargo, se identificó variabilidad entre investigaciones, desde ensayos piloto con muestras reducidas hasta estudios con mayor número de sujetos. En conjunto, esta diversidad de diseños y tamaños muestrales justifica el uso de una revisión narrativa para integrar, comparar y analizar críticamente la evidencia disponible.

Tabla 2 Nivel de evidencia (n=13)

Tipo de estudio	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Ensayos clínicos aleatorizados (RCT)	10	76,92%
Otros diseños (piloto, cruzado, no RCT)	3	23,08%
Total	13	100%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2, Muestra que la mayoría de los estudios incluidos correspondieron a ensayos clínicos aleatorizados (76,92%), lo que aporta mayor rigor metodológico y mejora la confiabilidad de los hallazgos revisados. En menor proporción, se incorporaron otros diseños (23,08%), los cuales aportan información complementaria y permiten ampliar la comprensión del fenómeno desde diferentes enfoques metodológicos.

Tabla 3 . Resultados clínicos predominantes de la suplementación con curcumina (n = 13)

Autores	Resultado clínico	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Bai (2023) Clayton et al. (2023) Helder et al. (2025) Juniarsyah (2024) Juniarsyah (2025) Salehi (2021) Schönenberger et al. (2025) Tamoli (2022) Sinaga (2022) Thanawala et al. (2022)	Mejora en la recuperación	10	76,92%
Bai (2023) Clayton et al. (2023) Helder et al. (2025) Schönenberger et al. (2025) Tamoli (2022) Tanabe (2024) Thanawala et al. (2022)	Disminución del dolor muscular	7	53.85%
Choi (2023) Clayton et al. (2023) Helder et al. (2025) Salehi (2021)	Disminución de la inflamación	4	30,77%
Bańkowski (2022) Tanabe (2024)	Sin cambios significativos	2	15,38%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3, muestra una tendencia global favorable hacia la suplementación con curcumina, con predominio de estudios que reportaron mejoras clínicas en dolor muscular de aparición tardía, recuperación funcional y reducción de biomarcadores asociados al daño muscular post ejercicio.

Sin embargo, los hallazgos no fueron completamente homogéneos, debido a que algunas investigaciones no evidenciaron diferencias significativas frente al placebo. Estas discrepancias podrían atribuirse a variaciones en la dosis utilizada, tiempo de intervención,

tipo de formulación, nivel de entrenamiento de los participantes y características del ejercicio aplicado. En conjunto, las formulaciones de mayor biodisponibilidad y los protocolos administrados después del ejercicio presentaron resultados más consistentes.

Tabla 4 Distribución de los estudios según contexto (n = 13)

Autores	Categoría	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Helder et al. (2025)	Laboratorio	6	46,15%
Schönenberger et al. (2025)			
Sinaga (2022)			
Tamoli (2022)			
Thanawala et al. (2022)			
Tanabe (2024)			
Clayton et al. (2023)	Campo	3	23,08%
Juniarsyah (2024)			
Juniarsyah (2025)			
Bai (2023)	Entrenamiento	4	30,77%
Bańkowski (2022)			
Choi (2023)			
Salehi (2021)			

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4, muestran que la mayor proporción de estudios se desarrolló en condiciones de laboratorio (46,15%), lo que indica un énfasis en entornos controlados que permiten una medición más precisa de variables fisiológicas y bioquímicas, reduciendo factores de confusión. Sin embargo, también se incluyen investigaciones en contextos de entrenamiento (30,77%) y de campo (23,08%), los cuales aportan mayor validez ecológica al reflejar condiciones reales de práctica deportiva. Esta distribución evidencia un equilibrio entre el control experimental y la aplicabilidad práctica, lo que fortalece la interpretación integral de los efectos de la curcumina, aunque también puede contribuir a la variabilidad de los resultados debido a las diferencias en las condiciones de ejecución de los estudios.

Tabla 5 Distribución de los estudios según el tipo de ejercicio aplicado (n = 13)

Autores	Tipo de ejercicio	(n = 13)
Bańkowski 2022	Ejercicio aeróbico de resistencia prolongada	1
Tanoli 2022 Thanawala 2022 Helder 2025 Schönenberger 2025	Ejercicio excéntrico	4
Tanabe 2024 Clayton 2023 Juniarsyah 2025 Juniarsyah 2024 Choi 2023	Actividad deportiva de campo (partido competitivo)	5
Sinaga 2022	Ejercicio aeróbico de alta intensidad	1
Salehi 2021	Ejercicio aeróbico de intensidad moderada	1
Bai 2023	Entrenamiento de fuerza	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5, muestra que el tipo de ejercicio más frecuente en los estudios analizados correspondió a actividades deportivas de campo (38,46%), asociadas a contextos de competencia real, como partidos, lo que aporta una elevada validez ecológica a los hallazgos. En segundo lugar, el ejercicio excéntrico representó el 30,77% de los protocolos evaluados. Este tipo de estímulo se relaciona directamente con mayor daño muscular inducido por el ejercicio, por lo que resulta especialmente útil para analizar los posibles efectos antiinflamatorios y de recuperación atribuidos a la curcumina. En menor proporción se identificaron protocolos de ejercicio aeróbico de resistencia prolongada, ejercicio aeróbico de alta intensidad, ejercicio aeróbico moderado y entrenamiento de fuerza, cada uno con un solo estudio (7,69%), lo que evidencia heterogeneidad en los modelos de ejercicio empleados.

En conjunto, estos resultados sugieren que la evidencia disponible se ha desarrollado principalmente en contextos de alta demanda fisiológica, ya sea en escenarios competitivos o mediante ejercicios capaces de inducir daño muscular significativo. Esta diversidad metodológica amplía la comprensión de los posibles efectos de la curcumina en

distintos escenarios deportivos, aunque también puede dificultar la comparación directa entre estudios.

Tabla 6 Timing de suplementación (n = 13)

Autores	Categoría	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Tanabe (2024)	Pre-entrenamiento	1	7,69%
Sinaga (2022)	Post-entrenamiento	2	15,38%
Tanabe (2024)			
Helder et al. (2025)	Pre y Post-entrenamiento o combinados	4	30,77%
Schönenberger et al. (2025)			
Tamoli (2022)			
Thanawala et al. (2022)			
Bai (2023)	Consumo continuo 12 días	7	53,85%
Bańkowski (2022)			
Choi (2023)			
Clayton et al. (2023)			
Juniarsyah (2024)			
Juniarsyah (2025)			
Salehi (2021)			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6, muestra que la estrategia de suplementación más frecuente fue el consumo continuo por más de 12 días (53,85%), lo que sugiere que la mayoría de los estudios priorizó evaluar los posibles efectos acumulativos de la curcumina sobre la inflamación y la recuperación muscular. En segundo lugar, el esquema combinado pre y post entrenamiento (30,77%) refleja una estrategia orientada tanto a la prevención del daño muscular como al favorecimiento de la recuperación posterior al ejercicio.

Por otra parte, el uso exclusivo en momentos específicos, como preentrenamiento (7,69%) o post entrenamiento (15,38%), fue menos frecuente, lo que evidencia una menor cantidad de investigaciones centradas en el efecto aislado del timing. Estos hallazgos indican que los protocolos prolongados y combinados han sido los más estudiados en el ámbito de la suplementación con curcumina en deportistas de resistencia.

Tabla 7 Relación entre duración de la intervención y dosis utilizada (n = 13)

Autores	Intervención	180– 500 mg	501– 800mg	1200 a 1400 mg	2000mg
Schönenberger et al. (2025) Sinaga (2022) Tamoli (2022) Tanabe (2024)	Corta duración 1 – 6 días	4			
Choi (2023) Helder et al. (2025) Juniarsyah (2024) Juniarsyah (2025)	Duración media 7 – 14 días	3	1		
Bai (2023) Bańkowski (2022) Clayton et al. (2023) Salehi (2021) Thanawala et al. (2022)	Larga duración >2 semanas	2		2	1
Total		9	1	2	1

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7, muestra que la mayoría de los estudios empleó dosis bajas a moderadas de curcumina (180–500 mg), presentes en 9 de los 13 estudios analizados, lo que sugiere una tendencia hacia esquemas conservadores de suplementación, independientemente del tiempo de intervención. Sobre la duración, se observa una distribución relativamente equilibrada entre protocolos de corta duración (1–6 días) y larga duración (>2 semanas), mientras que las intervenciones de duración media (7–14 días) fueron menos frecuentes.

Las dosis más elevadas (1200–1400 mg y 2000 mg) se concentraron principalmente en estudios de mayor duración, lo que podría reflejar interés por evaluar posibles efectos acumulativos o respuestas dosis-dependientes en intervenciones prolongadas. Los hallazgos evidencian heterogeneidad en los protocolos de dosificación y duración, factor que podría influir en la variabilidad de los resultados reportados y respalda la necesidad de estandarizar futuras investigaciones en este campo.

Tabla 8 Relación entre dosis y resultado predominante (n = 13)

Dosis	Disminución dolor	Recuperación	Mejor rendimiento
180–500 mg	Tanabe (2019) Thanawala et al. (2022) Schönenberger et al. (2025) Tamoli (2022)	Tanabe (2024) Juniarsyah (2024) Thanawala et al. (2022) Sinaga (2022) Choi (2023) Schönenberger et al. (2025) Tamoli (2022) Salehi (2021)	Juniarsyah (2024) Schönenberger et al. (2025) Salehi (2021) Tamoli (2022)
501–800mg	Helder et al. (2025)	Helder et al. (2025)	
1200 a 1400 mg	Bai (2023) Clayton et al. (2023)	Bai (2023) Clayton et al. (2023)	Bai (2023)
2000mg	<i>El estudio de Bańkowski (2022), a pesar de emplear la dosis más alta reportada entre estos autores (2000 mg/día), no figura en las listas ya que no logró comprobar una disminución significativa del dolor, ni mejora en su prueba de rendimiento (VO2max), ni optimizó los marcadores de recuperación frente al grupo que ingirió el placebo</i>		

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8, evidencia la relación entre dosis administrada y resultados predominantes. Los datos muestran que las dosis bajas a moderadas (180–500 mg) concentraron la mayor cantidad de efectos positivos, observándose beneficios en la disminución del dolor muscular, mejora de la recuperación y, en menor medida, en el rendimiento físico. Esta consistencia sugiere que dicho rango podría ser suficiente para generar efectos favorables en deportistas de resistencia, especialmente cuando la suplementación se mantiene durante varios días o se combina con estrategias adecuadas de timing.

En contraste, el rango intermedio de 501–800 mg presentó evidencia más limitada, con resultados positivos reportados en un número reducido de estudios, lo que dificulta establecer conclusiones firmes. Por otra parte, las dosis más altas (1200–1400 mg) también mostraron efectos favorables, principalmente en recuperación y rendimiento, aunque respaldados por un menor número de investigaciones, lo que sugiere que podrían ser

efectivas, pero con evidencia aún insuficiente.

Llama la atención que la dosis más elevada (2000 mg) no evidenció beneficios significativos en los parámetros evaluados, lo que podría indicar que incrementar la dosis no necesariamente se traduce en mayores efectos, e incluso podría apuntar una posible meseta en la respuesta fisiológica. Esta relación no lineal entre dosis y efecto, donde las dosis moderadas parecen mostrar resultados más consistentes, mientras que dosis superiores no garantizan mejores desenlaces.

Tabla 9 Relación entre biomarcadores evaluados y efecto clínico reportado (n = 13)

Autores	Biomarcadores evaluados	Biomarcadores con efectos positivos	Efecto clínico reportado
Helder et al. (2025)	Test FORT, CK, IL-6	↓CK↓Test FORT↓IL-6	↓Dolor clínico
Bai et al. (2023)	CK, MDA, 8-OHdG, TNF- a	↓8-OHdG	↓Dolor clínico ↓fatiga
Clayton et al. (2023)	PCR, CK	↓PCR	↓Dolor clínico
Salehi et al. (2021)	PCR, TAC, MDA, LDH	↓PCR ↓TAC ↓LDH ↓MDA	↑VO2max
Choi et al. (2023)	IL-6, CK, LDH, AST, Mioglobina	↓IL-6	
Thanawala et al. (2022)	LDH, CK	↓LDH	↓Dolor clínico ↓Fatiga
Sinaga et al. (2022)	CK	↓CK	↑Recuperación muscular ↓Pérdida de función muscular
Bańkowski (2022)	SOD, CAT, GPx, GSH, Ácido Úrico (UA), SIRT3, TOS/TOC, MDA, 8-OHdG, CK, LDH, Mioglobina	↑SIRT3	
Juniarsyah (2024)	CK, AST, ALT	↓CK ↓AST ↓ALT	↑Recuperación muscular
Schönenberger et al. (2025)	CK		↑Rendimiento
Tamoli (2022)	CK, PCR		↓Dolor clínico ↓Edema
Tanabe (2024)	CK		↓Dolor clínico ↑ROM ↑MVC
Juniarsyah (2025)	No biomarcadores		↑Rendimiento

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9, muestra que los biomarcadores más frecuentemente evaluados fueron creatina quinasa (CK), interleucina-6 (IL-6), lactato deshidrogenasa (LDH) y proteína C reactiva (PCR), todos ellos relacionados con el daño muscular inducido por el ejercicio, la inflamación sistémica y el estrés oxidativo.

En la mayoría de los estudios se observó una disminución de estos marcadores, especialmente de CK, IL-6, PCR y LDH, lo que indica que la suplementación con curcumina podría contribuir a reducir el daño muscular y modular la respuesta inflamatoria posterior al ejercicio. Es así que diversas investigaciones reportaron mejoras en marcadores oxidativos como malondialdehído (MDA), 8-OHdG y capacidad antioxidante total (TAC), además de incrementos en enzimas antioxidantes, reforzando un posible efecto protector frente al estrés oxidativo asociado al ejercicio de resistencia.

En cuanto a los efectos clínicos, se evidencia una tendencia favorable hacia la disminución del dolor muscular, fatiga y edema, acompañada de una mejor recuperación funcional en varios estudios. De igual forma, algunas investigaciones reportaron mejoras en variables de rendimiento físico, como aumento del $\text{VO}_2\text{máx}$, rango de movimiento (ROM) y contracción voluntaria máxima (MVC), lo que sugiere un posible beneficio no solo bioquímico, sino también funcional.

Sin embargo, los resultados no fueron completamente uniformes, ya que ciertos estudios no reportaron cambios significativos en biomarcadores específicos o se centraron exclusivamente en variables de rendimiento. Esta heterogeneidad refuerza la necesidad de interpretar los hallazgos de manera integrada y contextualizada.

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1 Discusión

Esta investigación es una revisión narrativa que analiza el efecto de la suplementación con curcumina en la reducción de la inflamación muscular post-ejercicio en deportistas de resistencia. La evidencia recopilada en los ensayos clínicos y metaanálisis más recientes muestra una alta variabilidad metodológica, pero permite identificar una tendencia favorable respecto a sus posibles beneficios terapéuticos, aunque persiste heterogeneidad metodológica entre estudios. A nivel fisiológico, la literatura confirma que la curcumina actúa como un potente agente pleiotrópico capaz de modular la respuesta inmune estéril desencadenada por el EIMD. Su principal mecanismo radica en el bloqueo de la translocación del NF- κ B, lo que suprime directamente la transcripción y liberación de citoquinas proinflamatorias como el TNF- α , IL-6 e IL-8.

Esto se ha evidenciado clínicamente en el estudio de Choi et al. (2023), donde futbolistas femeninas de élite que ingirieron nanopartículas coloidales lograron una reducción del 30.2% reportada en dicho estudio en los niveles de IL-6 circulante, frenando de manera sistémica la cascada inflamatoria. De forma similar, ensayos como los de Salehi et al. (2021) y Clayton et al. (2023) reportaron descensos estadísticamente significativos en la PCR en marcadores de estrés oxidativo celular como el MDA tras intervenciones deportivas. Además, Helder et al. (2025) corroboraron que su consumo promueve la atenuación aguda de especies reactivas de oxígeno y la FORT mediante el incremento de la capacidad antioxidante endógena del cuerpo.

A pesar de esta posible modulación inflamatoria, los hallazgos sugieren una independencia entre la mejoría clínica percibida y los biomarcadores estructurales del daño fibrilar. El marcador por excelencia de rotura del sarcolema es la CK. Algunos autores como Schöenberger et al.(2025), Tamoli et al. (2022) y Clayton et al. (2023) evidenciaron que, aunque los atletas presentaban una notoria reducción del dolor, pero los niveles sanguíneos de CK no mostraban diferencias significativas frente a los grupos placebo. No obstante, cuando la intervención se realiza frente a cargas acumulativas y un estrés metabólico

continuo, como en el caso de la congestión de partidos de fútbol en días consecutivos estudiado por Juniarsyah et al. (2024), la curcumina sí logra proteger la integridad celular y reducir eficazmente el daño expresado en menores niveles de CK y AST, ALT a las 24 y 48 horas. Adicionalmente, el estudio de Bańkowski et al. (2022) con corredores aficionados de ultra-resistencia mostró ineficacia en reducir enzimas como la CK, la LDH o la mioglobina. Esto se interpreta al considerar que el elevado volumen de un entrenamiento prolongado ya estimula de forma natural una adaptación al alza en las vías antioxidantes propias de estos atletas como el gen SIRT3, limitando el efecto metabólico adicional que la suplementación exógena puede ofrecer.

La modulación de este entorno bioquímico tiene un impacto directo y ampliamente respaldado en el alivio del DOMS y la recuperación funcional, consolidando a la curcumina como una ayuda ergogénica altamente efectiva. En el ámbito de la analgesia subjetiva, Thanawala et al. (2022) probaron que el extracto hidrodispersable (TurmXTRA) redujo drásticamente el dolor desde las primeras 12 horas hasta las 96 horas, optimizando además parámetros psicosomáticos del cuestionario de Hooper-MacKinnon, logrando así menor fatiga, mejor estado de ánimo y mayor calidad de sueño. Clínicamente, Tamoli et al. (2022) constató descensos significativos en la sensibilidad periférica al tacto y en el edema o hinchazón de las extremidades. A nivel de rendimiento físico, esta mitigación analgésica facilita un blindaje en el sistema neuromuscular. Juniaryah et al. (2025) comprobó que la ingesta previno caídas bruscas en la capacidad de salto vertical (CMJ) y logró mantener los tiempos de velocidad en pruebas de sprint de 20 metros a pesar de la congestión de partidos.

En la misma línea, Schönerberger et al. (2025) indicaron una atenuación en la pérdida de torque isocinético y trabajo máximo, permitiendo que la potencia muscular se recupere funcionalmente a las 24 horas post-daño. A largo plazo, mitigar la fatiga sistémica permite sostener mejores cargas de esfuerzo aeróbico, tal como lo observaron Salehi et al. (2021) al registrar un incremento estadísticamente significativo en la capacidad aeróbica máxima (VO₂max) de las mujeres evaluadas.

deportiva, la literatura subraya que la curcumina nativa presenta el enorme reto de una pobre solubilidad en agua y una acelerada depuración mediante el metabolismo de primer paso hepático. Por consiguiente, los resultados exitosos actuales dependen imperativamente del uso de presentaciones formuladas con biopotenciadores o encapsulaciones de alta tecnología, tales como la curcumina liposomal, nanopartículas coloidales (Theracurmin), dispersiones coloidales secas o la adición conjunta de piperina para retrasar su excreción.

Respecto a la dosificación, la evidencia apunta a la existencia de un "efecto techo" o paradoja de la dosis; esto fue corroborado por el metaanálisis de Liu et al. (2024), donde dosis bajas a moderadas, específicamente inferiores a 500 mg diarios, resultaron ser las más efectivas y consistentes para proteger a los deportistas y disminuir la CK. Un hallazgo fisiológico crítico en esta línea es el aportado por Helder et al. (2025), quienes al comparar una dosis baja frente a un alta de 1500 mg observaron que la dosis mayor neutralizó casi por completo los biomarcadores de inflamación IL-6 y FORT, pero como consecuencia adversa provocó un retraso en la recuperación de la resistencia muscular isométrica a las 24 horas. Esto infiere que un bloqueo extremo y repentino de la inflamación inicial interfiere y paraliza la cascada natural de adaptación y reparación del tejido conectivo.

El caso del Timing de consumo este determina el éxito terapéutico de la intervención, Tanabe et al. (2019) revelaron que un enfoque meramente profiláctico, consistente en consumir la curcumina únicamente antes de entrenar, es ineficaz para mitigar el dolor, siendo la administración sostenida durante el periodo post-ejercicio la clave real para recuperar el rango de movimiento y atenuar los síntomas del DOMS. Por tanto, los protocolos revisados y la evidencia actual coinciden en que una estrategia mixta que integre una pre-carga días antes del evento y un mantenimiento continuo durante la ventana de recuperación de las 72 a 96 horas posteriores al esfuerzo representa la pauta nutricional idónea para el atleta de resistencia, asegurando la atenuación del pico inflamatorio secundario sin comprometer los mecanismos endógenos de adaptación deportiva.

Finalmente, entre las principales limitaciones del presente estudio se encuentran la

utilizadas, lo que dificulta la comparación directa entre investigaciones.

En términos generales, los hallazgos respaldan la hipótesis planteada y permiten considerar a la curcumina como una estrategia nutricional complementaria con potencial utilidad en la recuperación post ejercicio. No obstante, se requieren estudios futuros con metodologías más estandarizadas para definir con mayor precisión dosis óptimas, duración y aplicaciones específicas según disciplina deportiva.

5.2 Conclusiones

La evidencia analizada sugiere que la curcumina puede contribuir a modular la respuesta inflamatoria posterior al ejercicio en deportistas de resistencia. Los estudios revisados muestran una tendencia favorable en la disminución de biomarcadores asociados al proceso inflamatorio y al daño muscular inducido por el esfuerzo físico, especialmente en contextos de alta demanda fisiológica. Entre los mecanismos de acción propuestos destacan la regulación de vías relacionadas con el factor nuclear kappa B (NF-κB) y el fortalecimiento de sistemas antioxidantes endógenos, lo que favorecería el equilibrio fisiológico frente al estrés oxidativo generado durante ejercicios prolongados o repetitivos. En este sentido, la curcumina podría representar una herramienta nutricional complementaria para optimizar la recuperación post ejercicio.

Respecto al daño muscular, los hallazgos indican que la curcumina no siempre evita el aumento agudo de creatina quinasa (CK) posterior a ejercicios intensos o excéntricos, particularmente cuando existe elevada carga mecánica, según la evidencia se reportaron efectos favorables sobre otros marcadores asociados al daño tisular y metabólico, como lactato deshidrogenasa (LDH), aspartato aminotransferasa (AST) y alanina aminotransferasa (ALT), lo que sugiere un posible efecto protector complementario sobre la integridad celular y la recuperación sistémica. Esto permite inferir que su acción podría estar más vinculada a la modulación del proceso inflamatorio secundario y del estrés metabólico que a la prevención total del daño estructural inicial provocado por el ejercicio.

En la suplementación con curcumina se observaron que los beneficios más consistentes corresponden a la disminución del dolor muscular de aparición tardía (DOMS),

reducción del edema y mejor recuperación del rango de movimiento (ROM), especialmente durante las primeras 24 a 72 horas posteriores al ejercicio. Este periodo representa una fase crítica dentro del proceso de recuperación deportiva, en la cual el atleta necesita restablecer su capacidad funcional para continuar entrenando o competir nuevamente en corto plazo. En consecuencia, estos efectos podrían favorecer el mantenimiento del rendimiento físico, disminuir la percepción de fatiga acumulada y facilitar una mejor tolerancia a cargas repetidas de entrenamiento.

En cuanto a dosis, formulación y timing, la evidencia disponible muestra mejores resultados con dosis bajas a moderadas y con formulaciones de mayor biodisponibilidad, como combinaciones con piperina, sistemas liposomales o nanopartículas. Esto resalta la importancia de considerar no solo la cantidad administrada, sino también la capacidad de absorción y utilización biológica del compuesto. Además, los protocolos que incluyeron administración continua o suplementación posterior al ejercicio mostraron resultados más consistentes que el consumo aislado previo al esfuerzo, lo que sugiere que la principal utilidad práctica de la curcumina se encuentra en la ventana de recuperación post ejercicio.

La evidencia analizada sugiere que la suplementación con curcumina ejerce un efecto modulador sobre la inflamación muscular post-ejercicio en deportistas de resistencia, actuando a través de mecanismos antiinflamatorios y antioxidantes, su impacto sobre los biomarcadores de daño muscular es variable, se observan beneficios consistentes a nivel clínico, especialmente en la reducción del dolor muscular y la mejora de la recuperación funcional, su eficacia está condicionada por factores como la dosis, la formulación y el momento de consumo y la heterogeneidad de los estudios disponibles, es así que la curcumina se posiciona como una estrategia nutricional prometedora para favorecer la recuperación muscular, aunque se requiere mayor evidencia para establecer recomendaciones específicas y estandarizadas en el ámbito deportivo.

5.3 Recomendaciones

Es importante que futuras investigaciones se consideren algunas limitaciones identificadas en la literatura revisada, entre las que destacan el reducido tamaño muestral de

varios estudios, la heterogeneidad en las disciplinas deportivas evaluadas, el escaso control de la dieta basal de los participantes, la diversidad de formulaciones de curcumina empleadas y la limitada inclusión de mujeres atletas. Estos factores deben ser tomados en cuenta al interpretar los resultados disponibles y al diseñar nuevos estudios en este campo.

Es necesario desarrollar investigaciones longitudinales que evalúen si la modulación inflamatoria inducida por la curcumina podría influir en adaptaciones crónicas al entrenamiento, como biogénesis mitocondrial, fuerza o hipertrofia muscular.

En futuras investigaciones deberían complementar biomarcadores séricos como CK o LDH con métodos de imagen, tales como ecografía muscular o resonancia magnética, para valorar de manera más precisa el daño estructural post ejercicio.

Se considera relevante el diseño de ensayos clínicos específicos en mujeres atletas, considerando variables hormonales y fase del ciclo menstrual, con el fin de ampliar la aplicabilidad de los resultados.

Resulta pertinente desarrollar estudios comparativos entre distintas formulaciones de alta biodisponibilidad (nanopartículas, fitosomas, combinaciones con piperina) y establecer rangos de dosis óptimos según tipo de deporte y carga de entrenamiento.

Se sugiere comparar la respuesta a la suplementación con curcumina entre deportes de resistencia con menor impacto mecánico, como natación o ciclismo, y disciplinas con mayor estrés musculoesquelético, como maratón o trail running.

Sería de interés explorar el posible efecto de la curcumina sobre salud gastrointestinal, permeabilidad intestinal y recuperación global del atleta en contextos de ejercicio prolongado y estrés térmico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrekowisk, M. I., Peixoto, F., Rebellato, A. P., Mllani, R. F., Morgano, M. A., & Ariseto, A. (2024). Turmeric products: Evaluation of curcumin and trace elements. *Food Research International*, 196, 115028. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115028>
- Bai, K.-Y., Liu, G.-H., Fan, C.-H., Kuo, L.-T., Hsu, W.-H., Yu, P.-A., & Chen, C.-L. (2023). 12-week curcumin supplementation may relieve postexercise muscle fatigue in adolescent athletes. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1078108>
- Bańkowski, S., Petr, M., Rozpara, M., & Sadowska-Krępa, E. (2022). Effect of 6-week curcumin supplementation on aerobic capacity, antioxidant status and sirtuin 3 level in middle-aged amateur long-distance runners. *Redox Report : Communications in Free Radical Research*, 27(1), 186-192. <https://doi.org/10.1080/13510002.2022.2123882>
- 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: PTR*, 36(7), 2767-2778. <https://doi.org/10.1002/ptr.7477>
- Cao, S., Wang, C., Yan, J., Li, X., Wen, J., & Hu, C. (2020). Curcumin ameliorates oxidative stress-induced intestinal barrier injury and mitochondrial damage by promoting Parkin dependent mitophagy through AMPK-TFEB signal pathway. *Free Radical Biology & Medicine*, 147, 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.12.004>
- Choi, Y., Ra, S.-G., Nishijima, T., & Maeda2, S. (2023). *Effect of curcumin supplementation on inflammatory status and muscle damage in competitive female soccer players: A placebo-controlled, singleblind, nonrandomized, crossover pilot study.* <https://e-pan.org/journal/view.php?doi=10.20463/pan.2023.0016>
- Clayton, D. J., Burbeary, R., Hennis, P. J., James, R. M., Saward, C., Colledge, A., Scott, R., Gilpin, S., McMahon, R., & Varley, I. (2023). Turmeric supplementation improves markers of recovery in elite male footballers: A pilot study. *Frontiers in Nutrition*, 10.

<https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1175622>

Darmonkow, A., Rowe, Z. E. M., & Harding, S. V. (2025). Advancements in curcuminoid formulations: An update on bioavailability enhancement strategies curcuminoid bioavailability and formulations. *Open Life Sciences*, 20(1), 20251112. <https://doi.org/10.1515/biol-2025-1112>

Delecroix, B., Abaïdia, A. E., Leduc, C., Dawson, B., & Dupont, G. (2017). Curcumin and Piperine Supplementation and Recovery Following Exercise Induced Muscle Damage: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(1), 147-153.

Dias, K. A., Conceição, A. R., Oliveira, L. A., Pereira, S. M. S., Paes, S. da S., Monte, L. F., Sarandy, M. M., Novaes, R. D., Gonçalves, R. V., & Della Lucia, C. M. (2021). Effects of Curcumin Supplementation on Inflammatory Markers, Muscle Damage, and Sports Performance during Acute Physical Exercise in Sedentary Individuals. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 9264639. <https://doi.org/10.1155/2021/9264639>

Fernández-Lázaro, D., Mielgo-Ayuso, J., Seco Calvo, J., Córdova Martínez, A., Caballero García, A., & Fernandez-Lazaro, C. I. (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>

Ghojzadeh, M., Memarzadeh, A., Nikniaz, L., Sohrabnavi, A., Hoseini, M., & Pourmanaf, H. (2022). Effect of curcumin supplementation on muscle damage, antioxidant status and inflammatory factors after successive simulated taekwondo competitions. *Science & Sports*, 37(3), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2021.05.002>

Hegde, M., Girisa, S., BharathwajChetty, B., Vishwa, R., & Kunnumakkara, A. B. (2023). Curcumin Formulations for Better Bioavailability: What We Learned from Clinical Trials Thus Far? *ACS Omega*, 8(12),

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), e70504. <https://doi.org/10.14814/phy2.70504>
- 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>
- Jones, A., Kirby, B. S., Clark, I. E., Rice, H. M., Fulkerson, E., Wylie, L. J., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., & Brad W. Wilkins, B. W. W. (2020). Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace | Journal of Applied Physiology | American Physiological Society. *Journal of Applied Physiology*. <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/jappphysiol.00647.2020>
- Juniarsyah, A. D., Apriantono, T., Adnyana, I. K., Kurniati, N. F., & Hasan, M. F. (2024). The Effect of Curcumin and Piperine Supplementation as a Recovery Method after Two Consecutive Futsal Matches. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 12(1), 26-33. <https://doi.org/10.13189/saj.2024.120104>
- Juniarsyah, A. D., Apriantono, T., Kurniati, N. F., Winata, B., Hasan, M. F., Adnyana, I. K., & Pambudi, Y. T. (2025). Recovery effect of turmeric (curcuma longa l.) and black pepper (piper nigrum) in combination on futsal players. *Retos*, 64, 913-924. <https://doi.org/10.47197/retos.v64.108221>
- Karimi, M., Javadi, M., Sharifi, M., Valizadeh, F., Karimi, M. A., & Asbaghi, O. (2025). Effects of Curcuminoids Plus Piperine Co-Supplementation on Liver Enzymes and Inflammation in Adults: A GRADE-Assessed Systematic Review and Meta-Analysis. *Food Science & Nutrition*, 13(7), e70588. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70588>
- Kitaoka, Y. (2021). The Role of Nrf2 in Skeletal Muscle on Exercise Capacity. *Antioxidants*, 10(11), 1712. <https://doi.org/10.3390/antiox10111712>
- Lehoczki, A., Fekete, M., Jarecsny, T., Zábó, V., Szappanos, Á., Csípő, T., Lipécz, Á., Major,

- Nutrients*, 17(17), 2884. <https://doi.org/10.3390/nu17172884>
- Li, Y. (2025). Curcumin as a Natural Therapeutic Agent in Exercise-Induced Muscle Injury and Recovery. *Natural Product Communications*, 20(9), 1934578X251383097. <https://doi.org/10.1177/1934578X251383097>
- 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>
- Marmitt, D. J., Rempel, C., Goettert, M. I., Silva, A. do C. e, Marmitt, D. J., Rempel, C., Goettert, M. I., & Silva, A. do C. e. (2016). Análisis de la producción científica de *Curcuma longa* L. (azafrán) en tres bases de datos después de la creación de RENISUS. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 7(1), 71-77. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742016000100009>
- 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>
- Menezes, E., & Potrick Stefani, G. (2026). *The Effect of Curcumin Supplementation on Exercise Performance and Inflammation in Adults: Systematic Review and Meta-analysis*. 14, 68-84. <https://doi.org/10.22038/jnfh.2025.85354.1557>
- Mielgo-Ayuso, J., Macho-González, A., Úbeda, N., Sánchez-Oliver, A. J., Martínez-Ferrán, M., Fernández-Lázaro, D., Aparicio-Ugarriza, R., Roche, E., & González-Gross, M. (2025). Consensus Document of the Spanish Nutrition Society (SEÑ) on Nutritional Strategies in Sports. *Nutrients*, 17(24), 3862. <https://doi.org/10.3390/nu17243862>
- Moir, H. J., Maciejczyk, M., Maciejczyk, M., Aidar, F. J., & Arazi, H. (2023). Editorial: Exercise-induced oxidative stress and the role of antioxidants in sport and exercise. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1269826>
- Moriyuki, K., Sekiguchi, F., Matsubara, K., Nishikawa, H., & Kawabata, A. (2010). Curcumin Inhibits the proteinase-activated receptor-2-triggered prostaglandin E2 production by

- suppressing cyclooxygenase-2 upregulation and Akt-dependent activation of nuclear factor- κ B in human lung epithelial cells. *Journal of Pharmacological Sciences*, 114(2), 225-229. <https://doi.org/10.1254/jphs.10126sc>
- Naghsh, N., Musazadeh, V., Nikpayam, O., Kavyani, Z., Moridpour, A. H., Golandam, F., Faghfour, A. H., & Ostadrahimi, A. (2023). Profiling Inflammatory Biomarkers following Curcumin Supplementation: An Umbrella Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine : eCAM*, 2023, 4875636. <https://doi.org/10.1155/2023/4875636>
- Nanavati, K., Rutherford-Markwick, K., Lee, S. J., Bishop, N. C., & Ali, A. (2022). Effect of curcumin supplementation on exercise-induced muscle damage: A narrative review. *European Journal of Nutrition*, 61(8), 3835-3855. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02943-7>
- 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>
- Oxley, R. A., & Peart, D. J. (2024). 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>
- Pereira, S. M. S., Dias, K. A., Oliveira, L. A., José, V. P. B. de S., Martins, K. V. C., Conceição, A. R. da, Toledo, R. C. L., Dias, M. M. dos S., Gonçalves, R. V., Natali, A. J., Martino, H. S. D., & Lucia, C. M. D. (2026). Consumption of curcumin-added whey protein concentrate positively modulates intestinal health parameters after exhaustive exercise. *British Journal of Nutrition*, 135(2), 156-166. <https://doi.org/10.1017/S0007114525105758>
- Popescu-Radu, D. V., Patricia, M.-L., Marta, M.-S., & Laura, E. (2024). Evaluation of curcumin intake in reducing exercise-induced muscle damage in athletes: A systematic review.

<https://doi.org/10.1080/15502783.2024.2434217>

- Ribichini, E., Scalese, G., Cesarini, A., Mocci, C., Pallotta, N., Severi, C., & Corazziari, E. S. (2023). Exercise-Induced Gastrointestinal Symptoms in Endurance Sports: A Review of Pathophysiology, Symptoms, and Nutritional Management. *Dietetics*, 2(3), 289-307. <https://doi.org/10.3390/dietetics2030021>
- Salehi, M., Mashhadi, N. S., Esfahani, P. S., Feizi, A., Hadi, A., & Askari, G. (2021). The Effects of Curcumin Supplementation on Muscle Damage, Oxidative Stress, and Inflammatory Markers in Healthy Females with Moderate Physical Activity: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial. *International Journal of Preventive Medicine*, 12, 94. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_138_20
- Schönenberger, K. A., Laval, J., Woods, T., Truillet, R., Naranjo-Modad, S., Mettler, S., & Fança-Berthon, P. (2025). A randomized, placebo-controlled, crossover clinical trial to evaluate the effect of a turmeric formulation on muscle soreness and function recovery in moderately active adults. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 22(1), 2568048. <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2568048>
- Sciberras, J. N., Galloway, S. D., Fenech, A., Grech, G., Farrugia, C., Duca, D., & Mifsud, J. (2015). The effect of turmeric (Curcumin) supplementation on cytokine and inflammatory marker responses following 2 hours of endurance cycling. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12970-014-0066-3>
- Suhett, L. G., de Miranda Monteiro Santos, R., Silveira, B. K. S., Leal, A. C. G., de Brito, A. D. M., de Novaes, J. F., & Lucia, C. M. D. (2021). Effects of curcumin supplementation on sport and physical exercise: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(6), 946-958. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749025>
- Takahashi, M., Suzuki, K., Kim, H. K., Otsuka, Y., Imaizumi, A., Miyashita, M., & Sakamoto, S. (2014). Effects of curcumin supplementation on exercise-induced oxidative stress in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 469-475. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1357185>

- Tamoli, S., Narendra Mundhe, N. M., Pawar, V., & Birari, S. (2022). *Supplementation of AQUATURM® (Water soluble turmeric extract) prior to and following heavy eccentric exercise alleviates symptoms of Delayed onset muscle soreness (DOMS) | medRxiv*. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2022.10.08.22280682v1>
- Tanabe, Y., Chino, K., Ohnishi, T., Ozawa, H., Sagayama, H., Maeda, S., & Takahashi, H. (2019). Effects of oral curcumin ingested before or after eccentric exercise on markers of muscle damage and inflammation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 524-534. <https://doi.org/10.1111/sms.13373>
- 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>
- Thanawala, S., Shah, R., Karlapudi, V., Desomayanandam, P., & Bhuvanendran, A. (2022). *Efficacy and Safety of TurmXTRA® 60N in Delayed Onset Muscle Soreness in Healthy, Recreationally Active Subjects: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial—Thanawala—2022—Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine—Wiley Online Library*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/9110414>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 501-528. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Valenzuela, P. L., Morales, J. S., & Lucia, A. (2019). Passive Strategies for the Prevention of Muscle Wasting During Recovery from Sports Injuries. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 1(1), 13-19. <https://doi.org/10.1007/s42978-019-0008-5>
- Wang, F., Wang, X., Liu, Y., & Zhang, Z. (2021). Effects of Exercise-Induced ROS on the Pathophysiological Functions of Skeletal Muscle. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021(1), 3846122. <https://doi.org/10.1155/2021/3846122>

- Yoon, W.-Y., Lee, K., & Kim, J. (2020). Curcumin supplementation and delayed onset muscle soreness (DOMS): Effects, mechanisms, and practical considerations. *Physical Activity and Nutrition*, 24(3), 39-43. <https://doi.org/10.20463/pan.2020.0020>
- Zeng, Z., Centner, C., Gollhofer, A., & König, D. (2021). Effects of Dietary Strategies on Exercise-Induced Oxidative Stress: A Narrative Review of Human Studies. *Antioxidants*, 10(4), 542. <https://doi.org/10.3390/antiox10040542>