

**Universidad Europea De Valencia**

Facultad De Ciencias De La Salud



**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

Efectos de los suplementos nutricionales en la  
recuperación de los remeros: una revisión  
sistemática

VIRGINIA DELGADO RUIZ

BERNARDO CUESTAS CALERO

Curso 2024 – 2025

*A mi madre y a mi padre, por el apoyo incondicional.*

*A mi hermano, por creer en mí desde el principio.*

*A mi perro Loki, por cuidarme.*

*A mi compañero de vida, por ser el perro guardián de mis sueños, guiando mis pasos con una lealtad  
incondicional.*



## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN/MARCO TEÓRICO .....	1
1.1.	Historia del remo .....	1
1.2.	Características fisiológicas y demandas energéticas del remo .....	3
1.3.	Características fisiológicas y antropométricas de los remeros .....	15
1.4.	Requerimientos y retos nutricionales del remero de élite .....	16
1.5.	Suplementación en el deporte .....	20
2.	OBJETIVOS .....	26
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1.	Estrategia de búsqueda .....	27
3.2.	Criterios de inclusión y exclusión .....	27
4.	RESULTADOS .....	28
4.1.	Proceso de selección de los estudios .....	28
4.2.	Características de los estudios .....	29
4.3.	Resultados de los estudios sobre los marcadores fisiológicos de recuperación .....	33
5.	DISCUSIÓN .....	42
6.	Limitaciones del estudio .....	44
7.	Implicaciones del estudio con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) .....	45
7.1.	ODS 3: Salud y Bienestar .....	45
7.2.	ODS 12: Consumo Responsable .....	45
8.	CONCLUSIONES .....	45
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
10.	ANEXOS .....	62

## Ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b>	Modalidades de remado .....	2
-----------------------	-----------------------------	---

## Figuras

<b>Figura 1.</b>	Diagrama de flujo prisma 2020 .....	28
------------------	-------------------------------------	----

## Tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las embarcaciones, modalidades y categorías del remo olímpico .....	2
<b>Tabla 2.</b> Hidrólisis del ATP.....	3
<b>Tabla 3.</b> Características de los sustratos energéticos .....	5
<b>Tabla 4.</b> Contribución de los sistemas energéticos según la duración del sprint .....	6
<b>Tabla 5.</b> Sustratos energéticos y actividades principales de cada sistema energético .....	6
<b>Tabla 6.</b> Características metabólicas de los sistemas energéticos .....	7
<b>Tabla 7.</b> Contribución relativa de los sistemas energéticos a lo largo de una regata de 2000 metros .....	10
<b>Tabla 8.</b> Características generales del entrenamiento en remeros de élite .....	12
<b>Tabla 9.</b> Relación entre el entrenamiento y las demandas metabólicas de las regatas .....	13
<b>Tabla 10.</b> Carga semanal en fase general en los remeros de élite .....	14
<b>Tabla 11.</b> Estrategias nutricionales en los remeros .....	18
<b>Tabla 12.</b> Motivo por el déficit de ciertos micronutrientes .....	20
<b>Tabla 13.</b> Clasificación ABCD según evidencia de suplementación .....	21
<b>Tabla 14.</b> Suplementación en remeros por categoría de la AIS .....	22
<b>Tabla 15.</b> Características bases de los estudios .....	30
<b>Tabla 16.</b> Escala PEDro.....	31
<b>Tabla 17.</b> Objetivos de los estudios y la metodología utilizada. ....	32
<b>Tabla 18.</b> Efectos de la suplementación sobre marcadores de equilibrio redox en remeros .....	34
<b>Tabla 19.</b> Resultados cualitativos de los suplementos sobre biomarcadores antioxidantes .....	35
<b>Tabla 20.</b> Efectos de la suplementación sobre marcadores de daño muscular e inflamación en remeros .....	36
<b>Tabla 21.</b> Niveles de parámetros de daño muscular antes y después de la intervención .....	37
<b>Tabla 22.</b> Resumen cualitativo de los efectos de la suplementación sobre marcadores de daño muscular e inflamación .....	38
<b>Tabla 23.</b> Resultados hematológicos y hormonales tras suplementación con HMB, creatina y vitamina D .....	40
<b>Tabla 24.</b> Resultados hematológicos y hormonales tras suplementación con HMB .....	41
<b>Tabla 25.</b> Resumen cualitativo de los efectos de la suplementación sobre marcadores hormonales y hematológicos .....	41

## LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

**FISA:** Fédération Internationale des Sociétés d'Aviron (antiguo nombre de World Rowing).

**ATP:** Adenosín trifosfato.

**P:** Grupos fosfato inorgánicos.

**ATPasa:** Adenosín trifosfatasa.

**ADP:** Adenosín difosfato.

**PCr:** Fosfocreatina.

**CHO:** Hidratos de carbono.

**IMTG:** Triglicéridos intramusculares.

**VO<sub>2</sub>máx:** Consumo máximo de oxígeno.

**CK:** Creatina cinasa.

**H<sup>+</sup>:** Protones (iones de hidrógeno).

**NAD<sup>+</sup>:** Nicotinamida adenina dinucleótido.

**Z1:** Zona de baja intensidad.

**Z2:** Zona de moderada intensidad (umbral de lactato).

**Z3:** Zona de alta intensidad (capacidad anaeróbica).

**AIS:** Instituto australiano del deporte.

**HMB:** β-hidroxi β-metilbutirato.

**ROS:** Especies reactivas de oxígeno.

**TAC:** Capacidad antioxidante total.

**LDH:** Lactato deshidrogenasa.

**IL-6:** Interleucina-6.

**CRP:** Proteína C-reactiva.

**T/C:** Ratio testosterona/cortisol.

**PRISMA:** Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses.

**MeSH:** Medical subject headings.

**ECA-DB-CP:** Ensayo controlado aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo.

**ECAC-DB-CP:** Ensayo cruzado aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo.

**POM:** Extracto de granada (*Pomegranate*).

**SOD:** Superóxido dismutasa.

**DE:** Desviación estándar.

**GI:** Grupo de intervención.

**GC:** Grupo control

**CrMG:** Grupo creatina monohidrato.

**HMBG:** Grupo β-hidroxi β-metilbutirato.

**CrMG-HMBG:** Grupo combinado de creatina monohidrato y HMB.

**TNF-α:** Factor de necrosis tumoral alfa.

**sTfR:** Receptor soluble de transferrina.

**EIMD:** Daño muscular inducido por el ejercicio.

**AST:** Aspartato aminotransferasa.

**TAS:** Estado antioxidante total.

**TOS:** Estado oxidante total.

**OSI:** Índice de estrés oxidativo.

**ODS:** Objetivos de desarrollo sostenible.

**OMS:** Organización mundial de la salud.

## RESUMEN

El remo de élite impone un elevado estrés fisiológico que exige estrategias de recuperación eficaces. La evidencia sobre el impacto de la suplementación en este proceso es dispersa. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar y sintetizar la evidencia científica publicada desde 2015 sobre la eficacia de distintos suplementos para modular marcadores clave de la recuperación fisiológica (estrés oxidativo, daño muscular, inflamación y perfil hormonal) en remeros de élite.

Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA. Se consultaron las bases de datos PubMed, Scopus y Sportdiscus para identificar ensayos controlados aleatorizados que evaluaran intervenciones en remeros sanos de categoría élite. Tras el proceso de cribado y selección, se incluyeron siete estudios para su análisis cualitativo.

Los suplementos ricos en polifenoles (granada, arándano) demostraron un aumento de la capacidad antioxidante total. El antioxidante enzimático GliSODin redujo los marcadores de estrés oxidativo (TOS, OSI) y atenuó la respuesta inflamatoria y de daño muscular (CK, IL-6). La combinación de HMB y creatina mejoró el perfil anabólico, aumentando la testosterona y el ratio T/C. La vitamina D se mostró eficaz para prevenir el descenso de los niveles de hemoglobina y hematocrito.

La evidencia sugiere que los suplementos ejercen efectos específicos y no universales. La elección debe orientarse al objetivo concreto de recuperación: los polifenoles para potenciar el estado antioxidante; GliSODin para modular el estrés oxidativo y la inflamación; la combinación de HMB y creatina para favorecer un entorno hormonal anabólico; y la vitamina D para el soporte hematológico.

**Palabras clave:** remo, suplementación nutricional, recuperación deportiva, estrés oxidativo, daño muscular, remeros de élite.



## **ABSTRACT**

Elite rowing imposes high physiological stress that requires effective recovery strategies. Evidence on the impact of supplementation in this process is scattered. The objective of this systematic review was to analyze and synthesize the scientific evidence published since 2015 on the efficacy of different supplements in modulating key markers of physiological recovery (oxidative stress, muscle damage, inflammation, and hormonal profile) in elite rowers.

A systematic review was conducted following PRISMA guidelines. The PubMed, Scopus, and Sportdiscus databases were searched to identify randomized controlled trials evaluating interventions in healthy elite rowers. After the screening and selection process, seven studies were included for qualitative analysis.

Polyphenol-rich supplements (pomegranate, cranberry) demonstrated an increase in total antioxidant capacity. The enzymatic antioxidant GlisODin reduced markers of oxidative stress (TOS, OSI) and attenuated the inflammatory and muscle damage response (CK, IL-6). The combination of HMB and creatine improved the anabolic profile by increasing testosterone and the T/C ratio. Vitamin D was effective in preventing the decline in hemoglobin and hematocrit levels.

The evidence suggests that supplements exert specific, not universal, effects. The choice should be targeted to the specific recovery objective: polyphenols to enhance antioxidant status; GlisODin to modulate oxidative stress and inflammation; the HMB and creatine combination to promote an anabolic hormonal environment; and vitamin D for hematological support.

**Keywords:** rowing, nutritional supplementation, sport recovery, oxidative stress, muscle damage, elite rowers.

## **1. INTRODUCCIÓN/MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Historia del remo**

#### **1.1.1. Orígenes históricos del remo**

Los inicios del remo engloban una serie de actividades que han sido fundamentales a lo largo de la historia, como el transporte, el comercio y las operaciones militares.

Podemos destacar la actividad laboral desempeñada por miles de hombres en el río Támesis, quienes actuaban como taxistas acuáticos. Incluso se cree que, en el siglo XVIII, una compañía llegó a contar con hasta diez mil trabajadores dedicados al transporte de pasajeros de una orilla a otra. La gran oferta propulsó academias para desarrollar aún más la profesión. Estas circunstancias favorecieron el surgimiento progresivo de una competencia entre los barqueros (Thompson, 2015).

Al final en 1715 tuvo lugar uno de los primeros vestigios del remo como deporte: se celebró una carrera de barcas anual para demostrar cuales de los profesionales era el mejor. Esta competición se ha mantenido hasta la actualidad “Doggett’s Coat and badge” (Gavala González, 2021a).

Durante el siglo XIX comenzaron a incorporarse diversas innovaciones a las embarcaciones. Una de ellas fue el asiento deslizante. Este permitía aumentar la potencia de la remada al incluir el uso de las piernas. Como resultado, las embarcaciones de trabajo se volvieron más rápidas y eficientes, evolucionando hasta convertirse en los botes de competición actuales (Thompson, 2015).

#### **1.1.2. El remo como deporte**

Un paso importante para el desarrollo como remo deportivo tuvo lugar en 1892, cuando se creó la Federación Internacional de Sociedades de Remo, en Frances *Fédération Internationale des Sociétés d’Aviron* (FISA). Fue la primera federación deportiva de carácter internacional encargada de unificar las diferentes normativas del deporte (Gavala González, 2021a). Con ella comenzaron a definirse las embarcaciones que conocemos en la actualidad, las cuales siguen en continua actualización.

El remo se incluyó en los primeros Juegos Olímpicos, en Atenas, en 1896. Sin embargo, las desfavorables condiciones climáticas obligaron a suspender las regatas. No fue hasta los Juegos Olímpicos de París en 1900 cuando el remo se celebró oficialmente por primera vez, convirtiéndose desde entonces en una de las disciplinas más antiguas del programa olímpico de verano (Volianitis et al., 2020).

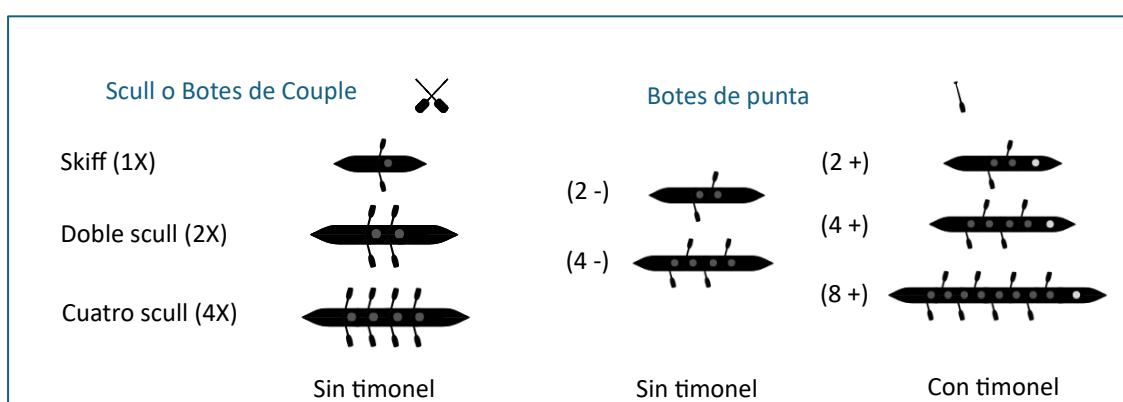
En la actualidad, el remo competitivo se organiza en torno a diversas categorías, embarcaciones y modalidades. Las categorías engloban distinciones por edad, las cuales existen variaciones en la distancia de las regatas, por sexo (femenino, masculino) y por peso (ligero o pesado). También existen categorías en función del número de remeros que participan en las embarcaciones, que varía desde uno hasta ocho, siendo esta la configuración máxima en el remo olímpico.

Por otra parte, existen dos tipos de embarcaciones, las móviles y las fijas. Las móviles, como se comentó anteriormente, presentan un asiento deslizante que mejora la eficiencia de remada. Por ello, son las más utilizadas en el remo olímpico y en la competición internacional. Mientras tanto, las embarcaciones fijas son más típicas de las tradiciones locales teniendo un uso más recreativo.

Independientemente del tipo de embarcación, se diferencian dos modalidades de remado: scull o bote de couple, en la que cada remero utiliza dos remos, y bote de punta, donde cada remero utiliza un solo remo.

A continuación, se presenta la **Ilustración 1**, donde se esquematizan las modalidades con sus características correspondientes.

**Ilustración 1.** Modalidades de remado



Nota. Elaboración propia a partir de vectores de dominio público.

En scull existen tres tipos según el número de remeros; skiff (1x), doble scull (2x) y cuatro scull (4x). Mientras tanto, en los de punta llegan hasta ocho remeros, además, pueden incluir timonel. En la ilustración 1, la nomenclatura con signo “+” refleja la presencia de timonel. Por ejemplo, “2+” representa un bote de punta con dos remeros y un timonel. Esta clasificación está regulada por World Rowing, nombre actual de la antigua FISA.

Para aclarar mejor estas ideas, se presenta a continuación una tabla resumen:

**Tabla 1.** Clasificación de las embarcaciones, modalidades y categorías del remo olímpico

Clasificación	Tipos
Tipo de embarcación	Móvil (asiento deslizante)
Modalidad de remado	Scull (2 remos) / Punta (1 remo)
Categorías de competición	Edad, Sexo, Peso, Tipo de bote (1x, 2-, 8+, etc.)

Nota. Adaptado por la autora a partir de Gavala González (2021b).

## 1.2. Características fisiológicas y demandas energéticas del remo

Más allá de su evolución histórica y técnica, el rendimiento del remo viene dado por diversos factores fisiológicos interconectados. Uno de los aspectos más relevantes es el aporte energético, que proviene de distintos sistemas metabólicos que trabajan en conjunto durante el esfuerzo (Hargreaves & Spriet, 2020; Poma, 2023). La naturaleza del remo, con su combinación de alta intensidad y duración considerable en las regatas olímpicas, impone demandas energéticas específicas que varían a lo largo de la competición (Diry et al., 2022; Winkert et al., 2022).

Por ello, esta sección se estructura en diferentes subapartados. Primero, se abordarán los aspectos básicos, como los diferentes sustratos energéticos, se expondrá la implicación de los diferentes sistemas energéticos durante las regatas y se explicarán las características energéticas del entrenamiento. Con el objetivo de presentar las bases para la comprensión de las necesidades nutricionales y posible utilidad de la suplementación en esta disciplina.

### 1.2.1. Sustratos energéticos

Para cualquier movimiento del músculo esquelético es necesario una cierta cantidad de energía. La unidad básica de energía utilizada por el organismo, independientemente de la vía metabólica implicada, es el adenosín trifosfato (ATP). El ATP representa el producto final común de los distintos sistemas energéticos, y su hidrólisis permite liberar energía química, la cual es transformada en energía mecánica por los músculos (Ross et al., 2021).

Estructuralmente, el ATP está compuesto por una molécula de adenosina unida a tres grupos fosfato inorgánicos (P). La energía se libera cuando se escinde uno de estos enlaces fosfato mediante un proceso de desfosforilación (Poma, 2023). Esta reacción, catalizada por la enzima adenosín trifosfatasa (ATPasa), da lugar a la formación de adenosín difosfato (ADP) y un fosfato inorgánico libre, además de la energía necesaria para realizar el movimiento (Kenneth S, 2022). Esta reacción enzimática, resumida en la Tabla 2, es extremadamente rápida ya que requiere la acción de una sola enzima, lo que permite una respuesta inmediata para la contracción muscular.

**Tabla 2.** Hidrólisis del ATP

Reacción	Enzima implicada	Tipo de proceso
$\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i + \text{energía}$	ATPasa	Desfosforilación

Nota. Adaptado del Box 1 de Hargreaves & Spriet (2020), con nuevos conceptos de la reacción descrita en los artículos de Poma (2023) y Kenneth S (2022).

Sin embargo, las reservas intramusculares de ATP son muy escasas, siendo incapaz de mantener la actividad contráctil durante periodos prolongados. Por ello, existen otras vías metabólicas que utilizan distintos sustratos energéticos con el objetivo de resintetizar el ATP consumido a medida que avanza la actividad muscular (Hargreaves & Spriet, 2020). Los principales sustratos implicados en la producción de ATP durante el ejercicio, y de especial relevancia en el remo, son la fosfocreatina, los hidratos de carbono (glucosa y glucógeno) y las grasas (ácidos grasos). Otros metabolitos como el lactato, los cuerpos cetónicos

e incluso los aminoácidos pueden contribuir en situaciones específicas de muy alta demanda o baja disponibilidad de sustratos principales (Ascencio Peralta, 2017), pero nos centraremos en los fundamentales para el remo competitivo: la fosfocreatina, la glucosa y los ácidos grasos.

La fosfocreatina (PCr) es un sustrato fundamental para la resíntesis rápida y potente de ATP. Proviene de la creatina, la cual puede sintetizarse endógenamente a partir de los aminoácidos glicina y arginina (Barcelos et al., 2016), principalmente en el hígado, los riñones y el páncreas (Gutiérrez-Hellín et al., 2024). Su formación implica la unión de un grupo fosfato a la creatina mediante un enlace de alta energía (Poma, 2023). Además de la fuente endógena, la creatina también puede obtenerse a través de fuentes exógenas, especialmente de alimentos de origen animal, como la carne y el pescado (Bemben & Lamont, 2005; Brosnan & Brosnan, 2016). La combinación de ambas fuentes ayuda al mantenimiento de las reservas totales de creatina (da Silva et al., 2009).

La mayor parte de la creatina se localiza en tejidos con alta demanda energética, como el cerebro y los músculos esqueléticos (Gutiérrez-Hellín et al., 2024). Aun así, también se encuentra en otras células como las del corazón, las del hígado y las neuronas (Balestrino, 2021; Brosnan et al., 2007). Aproximadamente el 95% del total corporal de creatina se encuentra almacenado en el músculo esquelético (Balsom et al., 1994) en dos formas: creatina libre (40%) y creatina fosforilada (60%) (Fazio et al., 2022). La PCr desempeña un papel clave en la resíntesis rápida de ATP, especialmente en actividades intermitentes.

Los hidratos de carbono (CHO) son una fuente de energía crucial para ejercicios de intensidad moderada a alta. Se utilizan principalmente a través de la glucosa, una molécula simple, cuya fuente puede ser exógena (dieta) o endógena (reservas corporales) (Poma, 2023).

La glucosa exógena procede del consumo de alimentos, principalmente de origen vegetal, ricos en hidratos de carbono como cereales, frutas, verduras, legumbres y productos derivados. Aunque también puede proceder de los productos lácteos (Slavin & Carlson, 2014). Una vez absorbida, viaja por el torrente sanguíneo para su uso o almacenamiento como glucógeno (Barbany Cairó, 2006; Chicharro & Mojares, 2008).

El hígado y los músculos esqueléticos son los principales reservorios de glucógeno. La cantidad almacenada en el hígado ronda los 100g, mientras que el contenido en el músculo varía según la forma física del individuo, la dieta, la cantidad de la masa magra y el sexo, rondando los 350g y los 700g (Knuiman et al., 2015). Sin embargo, un individuo sedentario puede presentar 150g en la musculatura total (McArdle et al., 2015). Cuando las reservas de glucógeno están completas, el excedente de glucosa pasa al hígado convirtiéndose en grasa y luego es liberada al torrente sanguíneo para ser almacenada en el tejido adiposo (José et al., 2014).

La glucosa endógena también proviene de la glucogenólisis hepática o muscular (hidrólisis del glucógeno a glucosa) o de la gluconeogénesis, síntesis de glucosa a partir de otros sustratos como lactato,

piruvato, aminoácidos y glicerol. Esta ruta se activa principalmente en el hígado, especialmente durante el ayuno o en ejercicio prolongado (Poma, 2023).

Se ha demostrado la relevancia de los hidratos de carbono en diferentes tipos de ejercicio. En actividades prolongadas de más de dos horas, la ingesta de carbohidratos durante el esfuerzo mejora la capacidad de resistencia y el rendimiento (Jeukendrup, 2004). Asimismo, en ejercicios de alta intensidad y corta duración, los CHO desempeñan un papel clave, especialmente una vez agotadas las reservas de PCr, es decir, a partir de los primeros 15-20 segundos de esfuerzo continuo (Gollnick & Matoba, 1984; Poma, 2023). En resumen, los carbohidratos aportan glucosa, esencial para la resíntesis de ATP mediante las vías glucolítica y oxidativa.

Por otra parte, las grasas constituyen la mayor reserva energética del cuerpo en forma de triglicéridos en el tejido adiposo. En comparación con el glucógeno, esta fuente de energía es prácticamente ilimitada. En términos energéticos, el glucógeno puede aportar entre 200 – 400 kcal procedente del hígado y entre 1.000 – 3.000 kcal del músculo. Mientras tanto, las reservas del tejido adiposo son sumamente mayores aportando entre 50.000 – 100.000 kcal. Además, también existen pequeñas reservas de triglicéridos dentro de las fibras musculares (triglicéridos intramusculares o IMTG) las cuales albergan entre 2.000 – 3.000 kcal (Hargreaves & Spriet, 2020).

Las grasas constituyen un recurso energético bastante relevante en la resíntesis de ATP en presencia de oxígeno. Su utilización predomina en ejercicios de larga duración y en actividades de baja intensidades, así como durante el reposo (Cermak & van Loon, 2013; Poma, 2023). Su máxima tasa de utilización se encuentra en aquellos ejercicios que presentan intensidades moderadas (60-65% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ ) debido que permiten el uso de oxígeno (Hargreaves & Spriet, 2020). Para ser utilizadas, los triglicéridos deben hidrolizarse (lipólisis) en ácidos grasos libres y glicerol. Los ácidos grasos son oxidados en las mitocondrias, mediante un proceso conocido como beta-oxidación, dependiente de la presencia de oxígeno (Poma, 2023; Whyte, 2006).

En la Tabla 3 se resumen las características básicas de cada sustrato energético mencionado:

**Tabla 3.** Características de los sustratos energéticos

Sustrato energético	Origen	Utilización principal	Reservas
PCr	Endógena y exógena	Alta intensidad, corta duración	Muy limitada
Glucosa / Glucógeno	Dieta / hígado / músculo	Media-alta intensidad	Moderada
Ácidos grasos	Tejido adiposo / IMTG	Baja-moderada intensidad, larga duración	Muy abundante

Nota. Elaboración propia a partir de la información proporcionada por Poma (2023).

### 1.2.2. Sistemas energéticos

La resíntesis de ATP a partir de estos sustratos se lleva a cabo a través de tres sistemas energéticos: el sistema de los fosfágenos (anaeróbico aláctico), el sistema glucolítico (anaeróbico láctico) y el sistema oxidativo (aeróbico). Todos ellos actúan de forma simultánea, pero en proporciones variables según la intensidad y duración del ejercicio (Romijn et al., 1993; van Loon et al., 2001). Es decir, todos se encuentran en funcionamiento en cualquier tipo de actividad física pero siempre existe una predominancia de uno sobre el otro (Katch, 2015). El objetivo común es mantener niveles constantes de ATP en el interior de la célula muscular, a pesar de las variaciones en las demandas energéticas (Baker et al., 2010). De este modo, un sprint de 10 segundos presenta una contribución diferente de cada sistema que uno de 30 segundos (Whyte, 2006). En la Tabla 4, se resumen los resultados de un estudio que evaluó dicha contribución diferencial.

**Tabla 4.** Contribución de los sistemas energéticos según la duración del sprint

Duración del esfuerzo	Fosfágenos	Glucolítico	Oxidativo
10 segundos	53 %	44 %	3 %
30 segundos	23 %	49 %	28 %

Nota. Elaboración propia a partir de la información proporcionada por Whyte (2006).

Como se puede observar todos los sistemas contribuyen en la resíntesis de ATP. Sin embargo, el sistema glucolítico predomina en el esfuerzo de 30 segundos, mientras que en el de 10 el sistema de fosfágeno tiene más protagonismo (Whyte, 2006). En la Tabla 5 se describen las diferentes actividades en las que predominan cada sistema energético según su intensidad y duración, además de los sustratos energéticos utilizados.

**Tabla 5.** Sustratos energéticos y actividades principales de cada sistema energético

Sistemas energéticos	Sustratos Energéticos	Actividades	Ejemplos
Fosfágenos	PCr, ATP muscular	Muy alta intensidad y corta duración	Sprint muy cortos (20 metros), saltos, lanzamientos, levantamiento de peso máximo, arranques explosivos
Glucolítico	Glucosa circulante, glucógeno muscular	Alta intensidad y duración intermedia	Sprint de 400-800m, sprints repetidos (20 metros con 3 series de 2 pausas de 6 s), ejercicios intermitentes intensos
Oxidativo	Glucosa, glucógeno, ácidos grasos, lactato, aminoácidos	Moderada-baja intensidad y/o larga duración	Maratón, ciclismo de larga distancia, natación de fondo, entrenamiento de resistencia

Nota. Elaboración propia a partir de Poma (2023), Whyte (2006) y Tauda et al. (2025).

La razón por la que un sistema energético predomina sobre los otros en determinadas actividades se encuentra en sus características metabólicas. Cada sistema presenta ventajas y limitaciones en cuanto a su velocidad de producción de energía (potencia metabólica), su eficiencia energética (cantidad de ATP por unidad de sustrato) y su capacidad total de síntesis (cantidad total de ATP que puede producir antes de agotarse). Además de otras características adicionales recogidas en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Características metabólicas de los sistemas energéticos

	<b>Fosfágenos</b>	<b>Glucolítico</b>	<b>Oxidativo</b>
Potencia metabólica	Muy alta	Alta	Baja
Capacidad de síntesis	Muy Baja (10 – 15s)	Moderada (15 – 90s)	Muy alta (>90s a horas)
Eficiencia energética	1 ATP/PCr	2-3 ATP/glucosa	36-38 ATP/glucosa 130 ATP/palmitato
¿Requiere oxígeno?	No	No	Sí
¿Producción de lactato?	No	Sí	No
Producción de H <sup>+</sup>	Baja	Alta	Baja

Nota. Elaboración propia a partir de Poma (2023), Whyte (2006), Tauda et al. (2025) y Wilmore & Costill (1998).

La potencia metabólica hace referencia a la velocidad con la que un sistema energético puede resintetizar ATP, mientras que la capacidad de síntesis habla sobre la cantidad total de ATP que ese sistema puede producir antes de agotarse (Wilmore & Costill, 1998). Por último, la eficiencia energética expresa la cantidad de ATP generada por unidad de sustrato.

El sistema de fosfágenos es la vía energética con mayor potencia metabólica, lo que lo convierte en un componente clave durante las fases iniciales del ejercicio y en esfuerzos breves de máxima intensidad, donde necesitan una gran cantidad de energía en un periodo bastante corto. Su principal fuente energética es la PCr, que actúa como donadora inmediata de un grupo fosfato al ADP para regenerar ATP, en una reacción catalizada por la enzima creatina cinasa (CK). Esta reacción ocurre de forma casi instantánea, lo que permite una rápida disponibilidad de energía (Baker et al., 2010).

Como se indica en la Tabla 5, este sistema predomina en actividades de carácter explosivo, como los lanzamientos (peso o disco), las pruebas de salto, los sprints en tenis o determinadas acciones en natación, donde las contracciones musculares intensas y breves son predominantes (Baker et al., 2010). Además, este proceso no requiere oxígeno ni produce lactato, razón por la que también se le conoce como sistema anaeróbico aláctico (Poma, 2023).

A pesar de su gran velocidad, su capacidad de síntesis de ATP es limitada, ya que las reservas de PCr en el músculo son escasas (Baker et al., 2010). Por ello, esta vía es predominante durante los primeros 5–6 segundos de un ejercicio de máxima intensidad, tanto en velocidad como en cantidad de ATP regenerado (Åstrand, 1986; Greenhaff et al., 1994; Greenhaff & Timmons, 1998). Sin embargo, a partir de los 10 segundos su contribución decrece significativamente, debido al progresivo agotamiento de la fosfocreatina (Walter et al., 1997).

No obstante, la PCr puede recuperarse de forma relativamente rápida (60 a 120 segundos) durante los periodos de descanso, ya sean pasivos o activos, principalmente a través del metabolismo



aeróbico (Baker et al., 2010; Harris et al., 1976). Esta capacidad de regeneración permite que los deportistas que realizan actividades intermitentes de alta intensidad puedan recurrir a este sistema de manera repetida a lo largo del ejercicio.

Por otro lado, el sistema glucolítico anaeróbico también presenta una potencia metabólica elevada, aunque algo inferior a la del sistema de fosfágenos. Sin embargo, su capacidad de síntesis de ATP es mayor, lo que le permite sostener la producción energética durante un período más prolongado. A medida que las reservas de fosfocreatina comienzan a agotarse, este sistema va incrementando progresivamente su participación, hasta convertirse en la vía predominante entre los 10 y 15 segundos de esfuerzo continuo (Greenhaff et al., 1994; Jones et al., 1985; Jones & McCartney, 1986).

Además, es más eficiente al aportar 2-3 ATP por cada unidad de glucosa en contraposición de 1 ATP por cada PCr (Wilmore & Costill, 1998). Por tanto, cuando se encuentra en su máxima tasa de producción de ATP (tras los 15 – 30 segundos de ejercicio intenso) puede aportar aproximadamente el doble de energía que el sistema de fosfágenos (Beneke et al., 2002).

A diferencia del sistema de fosfágenos, genera lactato como subproducto y no requiere oxígeno, por lo que también recibe el nombre de vía anaeróbica láctica (Poma, 2023). Durante décadas, la presencia de lactato se asoció erróneamente con la aparición de fatiga muscular (Hultman et al., 1981). Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el lactato no solo no es el causante directo de la acidosis, sino que incluso desempeña un papel amortiguador frente al aumento de protones ( $H^+$ ) generado durante la actividad física intensa (Robergs et al., 2004). De hecho, la acidosis metabólica que contribuye a la fatiga se origina principalmente en la hidrólisis del ATP y no en la producción de lactato (Baker et al., 2010). En este sentido, el lactato actúa como un marcador del entorno metabólico celular, más que como un agente causante del deterioro del rendimiento (Robergs et al., 2004).

Como se puede observar en la Tabla 5, los sustratos energéticos implicados en la obtención de energía del sistema glucolítico son la glucosa circulante y el glucógeno almacenado en el músculo esquelético (Pilegaard et al., 1999). Durante este proceso, la glucosa se transforma en piruvato mediante una serie de reacciones que conforman la glucólisis anaeróbica. Cuando la intensidad del ejercicio impide que el piruvato acceda a las mitocondrias por falta de oxígeno, este se convierte en lactato. Esta conversión permite regenerar  $NAD^+$ , indispensable para que la glucólisis continúe, y además evita la acumulación excesiva de piruvato en el músculo, lo que facilita la continuidad del suministro energético (Baker et al., 2010).

Por último, el sistema oxidativo es el que presenta menor potencia metabólica (Tabla 6) por lo que tarda más en aportar tasas elevadas de energía. Sin embargo, es el que tiene mayor capacidad de síntesis, ya que puede generar energía durante esfuerzos prolongados (horas) (Poma, 2023). Esto lo convierte en el sistema predominante en ejercicios de larga duración (Tabla 5) o de intensidad submáxima sostenida, como ocurre en gran parte de una regata de 2000 metros (Hargreaves & Spriet, 2020).

Como se puede observar en la Tabla 5, los sustratos energéticos que pueden participar en la obtención de energía de esta vía son; la glucosa, el glucógeno, los ácidos grasos y en menor medida el lactato y los aminoácidos (Brooks, 2009; Poma, 2023).

La contribución relativa del glucógeno y las grasas depende de la intensidad y la duración del ejercicio. A intensidades altas y moderadas, los carbohidratos (glucosa y glucógeno) suelen ser la fuente principal de energía oxidativa, especialmente en esfuerzos de duración limitada como una regata de remo (Treff et al., 2021). Sin embargo, en ejercicios aeróbicos muy prolongados, que superan los 30 minutos e incluso alcanzan las 2-3 horas (180 minutos), la oxidación de ácidos grasos aumenta progresivamente su contribución, convirtiéndose en la fuente de energía predominante a medida que las reservas de glucógeno disminuyen (Romijn et al., 1993; van Loon et al., 2001).

Además de glucosa y lípidos, el músculo también puede recurrir a los aminoácidos como fuente de energía en determinadas circunstancias. El tejido muscular mantiene una reserva de aminoácidos libres, disponible para su uso en el catabolismo. No obstante, cuando el esfuerzo físico es prolongado y el aporte de carbohidratos es limitado, se incrementa la degradación de proteínas musculares para mantener esa reserva de aminoácidos disponibles (Haff & Triplett, 2016; Whyte, 2006). Esta situación conlleva una mayor oxidación de aminoácidos, como la leucina, contribuyendo a la producción de energía (Hood & Terjung, 1990). Por el contrario, en esfuerzos intensos de corta duración, aunque también se incrementa la oxidación de ciertos aminoácidos, el catabolismo proteico global resulta insignificante debido al carácter transitorio del estímulo (Whyte, 2006).

Por otro lado, este sistema es el más eficiente en la producción de energía debido a que una molécula de glucosa aporta 36-38 ATP, dependiendo de si el sustrato es glucosa libre o glucógeno muscular (López Chicharro et al., 2013; Wilmore & Costill, 1998) y una molécula de palmitato 130 ATP (Hargreaves & Spriet, 2020). Esta diferencia refleja una mayor rentabilidad metabólica, aunque a costa de una velocidad de producción de ATP cuatro veces menor (Ribas, 2010).

Esto es debido a que los sustratos energéticos se descomponen totalmente en presencia de oxígeno. El sistema oxidativo está compuesto de múltiples reacciones que van oxidando al sustrato y a medida se va produciendo energía de forma directa como indirecta a través de metabolitos (Poma, 2023). Cuanto más reacciones necesite el sustrato para oxidarse completamente más energía aporta, es por ello por lo que las grasas son más eficientes que la glucosa.

La producción de energía de esta vía toma parte en las mitocondrias y para ello los sustratos deben convertirse previamente en acetil-CoA. En el caso de la glucosa, el proceso comienza con la glucólisis, que da lugar a piruvato, el cual, en presencia de oxígeno, se transforma en acetil-CoA en la mitocondria. En este caso la glucólisis se denomina glucólisis aeróbica. Por su parte, los ácidos grasos, como el palmítico, atraviesan la  $\beta$ -oxidación para generar acetil-CoA directamente (Haff & Triplett, 2016; Whyte, 2006).

Aunque cada sistema tiene un papel específico según el tipo de esfuerzo, su participación se superpone de forma dinámica durante la actividad física. La interacción entre estos tres sistemas permite al organismo adaptarse de manera eficiente a las distintas demandas energéticas del ejercicio, asegurando un suministro constante de ATP. En la siguiente sección, analizaremos cómo la contribución de cada sistema varía a lo largo de una regata de remo de 2000 metros.

### 1.2.3. Características de la competición (regata de 2000m)

En las pruebas olímpicas, la distancia oficial es de 2000 metros y la duración varía entre 5 y 7 minutos, dependiendo del tipo de embarcación, el sexo de los remeros y las condiciones ambientales (Treff et al., 2021). Estas características sitúan la regata como un evento de resistencia y de potencia que demanda una participación conjunta de los tres sistemas metabólicos para la resíntesis de ATP. Para explicar esta participación de los sistemas, vamos a dividir los 2000m en 4 tramos de 500m cada uno. Esta división sigue la línea de los estudios que evalúan la contribución de los sistemas energéticos en la regata (DAS et al., 2019). En la Tabla 7, se describen los sistemas predominantes en cada tramo junto a sus contribuciones secundarias, además de una breve justificación fisiológica:

**Tabla 7.** Contribución relativa de los sistemas energéticos a lo largo de una regata de 2000 metros

Tramo (m)	Sistema predominante	Contribuciones secundarias	Justificación fisiológica
0–500 m	Anaeróbico aláctico	Anaeróbico láctico y aeróbico	Alta potencia metabólica requerida para vencer la inercia del bote
500–1000 m	Aeróbico	Anaeróbico láctico	Estabilización del ritmo, oxidación predominante con participación glucolítica
1000–1500 m	Aeróbico	Anaeróbico láctico	Estabilización del ritmo, oxidación predominante con participación glucolítica
1500–2000 m	Aeróbico	Anaeróbico láctico y fosfágenos	Incremento de la velocidad final, reclutamiento de sistemas anaeróbicos de alta potencia
Total 2000 m	Aeróbico (70-80%)	Anaeróbico (20-30%)	El sistema aeróbico proporciona la mayor parte del ATP, pero los anaeróbicos son clave en fases críticas

*Nota.* Elaboración propia a partir diversas fuentes (Hagerman et al., 1978; Hargreaves & Spriet, 2020; Maciejewski et al., 2013; Nielsen, 1999; Pripstein et al., 1999; Roth, 1983; Schünemann et al., 2023; Secher, 1993; Treff et al., 2021)

Como se puede observar el primer tramo correspondiente el remero debe vencer la inercia del bote, lo que implica movilizar tanto el peso de la embarcación (unos 15 kg por remero) como su propio peso corporal. Se ha estimado que presenta una fuerza considerable (aproximadamente 480 N) y una potencia media alta (entre 450 y 550 W) en remeros masculinos de élite (Kleshnev, 2011). Debido a la necesidad de

generar ATP de forma inmediata y a máxima velocidad, el sistema de fosfágenos es la vía metabólica predominante en los primeros 10-15 segundos de esfuerzo (Tabla 6), gracias a su elevada potencia metabólica (Hargreaves & Spriet, 2020; Treff et al., 2021).

Pasado los primeros 10–15 segundos, la contribución del sistema de fosfágenos disminuye progresivamente, siendo reemplazada por el sistema glucolítico. Este sistema cobra un papel relevante al cubrir la alta demanda energética que el sistema oxidativo aún no puede satisfacer por completo, debido a su baja potencia metabólica (Tabla 6) y su limitada capacidad de producir energía a altas intensidades (Treff et al., 2021). Así, el metabolismo glucolítico actúa como una vía transitoria y de apoyo, proporcionando ATP de forma rápida hasta que el sistema oxidativo incrementa de manera significativa su participación.

En el segundo y tercer tramo, el sistema aeróbico pasa a ser el predominante y el glucolítico secundario. En esta fase intermedia, el metabolismo aeróbico se consolida como la principal fuente energética, con estimaciones de contribución que oscilan entre el 67 % y el 88 % del total energético (Pripstein et al., 1999; Roth, 1983).

Al aproximarse el final de la regata, los remeros inician un aumento progresivo de la velocidad durante los últimos 500 m. Aunque el metabolismo aeróbico continúa siendo la principal vía energética, se observa una reactivación del sistema glucolítico anaeróbico, que proporciona los ATP extra necesarios para mantener la alta potencia (Schünemann et al., 2023). Estudios en ergómetro muestran un aumento del sistema de fosfágenos durante los últimos 10 remadas que permite una respuesta explosiva final (Treff et al., 2021). La combinación sinérgica de estos sistemas permite a los remeros sostener o incluso aumentar su ritmo en la fase decisiva de la carrera.

De forma general en la regata predomina el sistema aeróbico con un 70-80% (Hagerman et al., 1978; Secher, 1993). Aun así, durante toda la regata la intensidad es bastante alta alcanzando rangos del 96-98% de su capacidad aeróbica máxima (Hagerman et al., 1978). Por lo que el sistema glucolítico también evidencia una contribución importante, explicando así, las concentraciones altas de lactato al final de la prueba (hasta 32 mmol L<sup>-1</sup>) (Maciejewski et al., 2013; Nielsen, 1999).

En este contexto, el rendimiento competitivo en remo está estrechamente ligado a la eficiencia de estos sistemas energéticos y se relaciona con los principales factores fisiológicos identificados: una elevada capacidad aeróbica, una notable resistencia general y una considerable fuerza muscular máxima (Ingham et al., 2002; Izquierdo-Gabarren et al., 2010). La fuerza máxima resulta determinante en momentos de exigencia explosiva, como la salida o el sprint final (Secher, 1993). Por su parte, la resistencia general permite soportar los esfuerzos prolongados asociados a la parte media y final de la regata, donde se acumula lactato debido a la alta participación del sistema glucolítico (Secher, 1993; Steinacker, 1993).

Las regatas son actividades de alta intensidad y duración moderada que demandan principalmente el uso de las vías oxidativas a lo largo de toda la prueba. En los momentos de mayor exigencia, cuando el

sistema oxidativo se ve superado, las vías anaeróbicas contribuyen a cubrir las necesidades energéticas. Los principales sustratos implicados son las reservas de glucógeno y la fosfocreatina, que puede obtenerse tanto de la dieta como de la suplementación

### 1.2.4. Características del entrenamiento en remo

Para poder satisfacer las demandas fisiológicas de las regatas (elevada capacidad aeróbica, resistencia general y fuerza muscular máxima) los remeros se someten a diferentes tipos de entrenamientos. La revisión sistemática de Zhong et al. (2025) analizó las características del entrenamiento en remeros de élite a partir de estudios publicados entre 2009 y 2023, proporcionando una visión actualizada de las tendencias en volumen, distribución de intensidad y periodización. En la siguiente tabla 8 se encuentra los resultados principales de la revisión.

**Tabla 8.** Características generales del entrenamiento en remeros de élite

Categoría	Descripción
Volumen semanal	10–31 h/semana Más frecuente: 14–20 h/semana
Distancia semanal	70–80 km
Distribución de intensidad	Modelo piramidal: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Baja intensidad (Z1): 70–85%</li> <li>– Moderada (Z2): 5–10%</li> <li>– Alta (Z3): 10–20%</li> </ul>
Objetivos fisiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Z1: Mejora aeróbica, técnica y variedad</li> <li>– Z2: Tolerancia/aclaramiento del lactato</li> <li>– Z3: Potencia y capacidad anaeróbica</li> </ul>
Periodización anual	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fase general: Mayor volumen y predominancia Z1</li> <li>– Fase competitiva: Aumento de la Z3</li> </ul>
Tipos de entrenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Remo en agua o en ergómetro</li> <li>– Resistencia no específica: Carrera, ciclismo, natación y esquí de fondo.</li> <li>– Fuerza: pesas, máquinas</li> <li>– Otros: yoga y juego en equipos</li> </ul>

Nota. Elaboración propia según la información aportada por Zhong et. al (2025) y Boegman & Dziedzic, (2016).

Tal como se resume en la Tabla 8, el entrenamiento de los remeros de élite se caracteriza por un alto volumen semanal, con una media habitual de entre 14 y 20 horas, y una distancia recorrida de entre 70 y 80 km. Utilizan generalmente un modelo piramidal para la distribución de la intensidad de la semana. Todos presenta una alta proporción de entrenamientos de baja intensidad seguidos de moderada y alta. Aun así, también hay remeros que entrenan con una distribución polarizada, donde los porcentajes altos se encuentran en las intensidades bajas y altas alejándose de las intensidades moderadas.

Además, la distribución del entrenamiento varía a lo largo del año. Durante la fase preparatoria general predomina el trabajo aeróbico de baja intensidad, mientras que en las semanas previas a la competición se incrementa el trabajo de alta intensidad.

En cuanto a las modalidades de trabajo, todos incluyen sesiones prolongadas de remo continuo o actividades no específicas como la carrera, el ciclismo y el esquí de fondo. Además, también introducen entrenamiento de fuerza de resistencia, basado en máquinas o levantamientos de pesas. Por último, algunos estudios incluyeron entrenamientos de recreación de equipo o entrenamientos de flexibilidad como el yoga.

El objetivo principal del entrenamiento en remo es desarrollar los factores fisiológicos clave que determinan el rendimiento en competición (Steinacker, 1993). Con el fin de ilustrar qué características del entrenamiento contribuyen al desarrollo de dichos factores, se presenta la Tabla 9:

**Tabla 9.** Relación entre el entrenamiento y las demandas metabólicas de las regatas

Factores fisiológicos	Entrenamiento
Alta capacidad aeróbica	Alto volumen de entrenamiento
	Predominio de sesiones de baja intensidad
Resistencia general	Entrenamientos prolongados de intensidad moderada
	Trabajo continuo en remo
Potencia máxima	Ejercicios de alta intensidad
	Intervalos cortos
	Trabajo de fuerza

Nota. Elaboración propia a partir de Treff et al. (2021), Zhong et. al (2025) y Boegman & Dziedzic, (2016).

El elevado volumen de entrenamiento y la gran proporción de sesiones de baja intensidad tienen como objetivo mejorar la eficiencia del gesto técnico, reforzar la economía de movimiento en la embarcación y potenciar la capacidad aeróbica. Este enfoque estimula adaptaciones como la biogénesis mitocondrial, un factor clave en el aumento de la capacidad oxidativa del músculo esquelético y del sistema cardiorrespiratorio (Holloszy & Coyle, 1984).

Las sesiones de intensidad moderada, por su parte, contribuyen al desarrollo de la resistencia específica, favoreciendo el aclaramiento y la reutilización del lactato como fuente de energía, lo cual optimiza el metabolismo intermedio y la tolerancia al esfuerzo sostenido (Philp et al., 2008).

En cuanto al trabajo de alta intensidad, este se enfoca en mejorar la potencia máxima, es decir, la capacidad de generar energía a alta velocidad, mediante intervalos intensos que simulan la demanda competitiva. Estos entrenamientos también desarrollan la capacidad anaeróbica y la tolerancia al lactato, esenciales durante los momentos de mayor exigencia de la regata (Fiskerstrand & Seiler, 2004).

La elevada carga aeróbica acumulada es esencial para optimizar la eficiencia técnica, la capacidad oxidativa y la recuperación entre esfuerzos intensos. Estas adaptaciones fisiológicas son determinantes para sostener un alto rendimiento en las regatas de 2000 metros, donde se exige una combinación precisa de resistencia aeróbica, potencia anaeróbica y coordinación técnica (Ingham et al., 2002; Izquierdo-Gabarren et al., 2010).

Para ilustrar de manera práctica la elevada carga y la complejidad de la preparación de un remero de élite, a continuación, se presenta la Tabla 10 que resume un ejemplo de una semana de entrenamiento durante la fase de preparación general caracterizada por un alto volumen con intensidad moderada. El objetivo es mostrar la distribución de las cargas y los diferentes tipos de estímulos a los que se somete el atleta.

**Tabla 10.** Carga semanal en fase general en los remeros de élite

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Sesión matutina 1</b>	Z1 (t)	Z1 (r)	Z1 (t) + Z2	Z1 (r)	Z1 (r)	Z1 (t) + Z2	Z1 (r)
<b>Sesión matutina 2</b>	Z3	Z1 (t) + Z3	-	Z1 (r) + Z2	Z1 (t) + Z3	Z3	-
<b>Sesión de la tarde</b>	Z1 (r)	-	Z1 (r) + Z3	Fuerza	-	Z1 (r) + Z3	Fuerza

Nota. Adaptación simplificada de Boegman & Dziedzic (2016). Z1(t) indica baja intensidad con foco técnico; Z1(r) indica baja intensidad con foco en resistencia aeróbica; Z2 se refiere al umbral de lactato; Z3 a la capacidad anaeróbica; y el símbolo "-" indica descanso.

El entrenamiento semanal de la Tabla 10 se caracteriza por varios aspectos que definen la preparación de los remeros de élite:

Se destaca el alto volumen y la alta frecuencia de entrenamiento, con un total de 12 sesiones distribuidas a lo largo de seis días. Además, hay una gran combinación de tipos de entrenos, presentándose sesiones aeróbicas de alto volumen (Z1), fundamentales para construir la base de resistencia u orientada más a la técnica. Sin embargo, se incluyen de forma estratégica sesiones de alta intensidad para mejorar el umbral de lactato (Z2) y la potencia anaeróbica (Z3), así como dos sesiones semanales de fuerza, indispensables para el rendimiento. Por último, la distribución de la carga no es aleatoria. Se alternan días de muy alto volumen (martes, jueves, domingo) con días de alta intensidad (lunes, miércoles, sábado). El viernes actúa como un día de volumen más reducido, funcionando como una jornada de recuperación relativa dentro del microciclo (Boegman & Dziedzic, 2016).

### 1.3. Características fisiológicas y antropométricas de los remeros

Las exigencias propias de las regatas influyen directamente en el diseño de los programas de entrenamiento y, a su vez, estas condicionan las características fisiológicas y antropométricas que definen al remero de élite.

Tanto durante el entrenamiento como en la competición, el sistema aeróbico juega un papel central. Para evaluar esta capacidad, se utiliza principalmente la medición del consumo máximo de oxígeno ( $\text{VO}_2\text{máx}$ ), que representa el volumen máximo de oxígeno que el organismo puede captar, transportar y utilizar por unidad de tiempo durante un esfuerzo máximo. Valores elevados de  $\text{VO}_2\text{máx}$  reflejan un sistema cardiovascular y metabólico eficiente, esencial para mantener esfuerzos prolongados e intensos (Treff et al., 2021).

El  $\text{VO}_2\text{máx}$  depende del producto del gasto cardíaco y de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, que indica la cantidad de oxígeno extraído por los tejidos. Entre estos dos factores, el gasto cardíaco es el que más varía entre personas entrenadas y no entrenadas, mientras que la diferencia arteriovenosa tiende a mantenerse similar (Lundby et al., 2017). Una de las principales adaptaciones que incrementa el gasto cardíaco es la hipertrofia del ventrículo izquierdo, que permite al corazón bombear un mayor volumen de sangre por cada contracción (Volianitis et al., 2020).

En consecuencia, los remeros de élite presentan valores de  $\text{VO}_2\text{máx}$  excepcionalmente elevados. Por ejemplo, en hombres de élite, este valor suele situarse entre 6 y 7 L/min (Mikulic & and Bralic, 2018; Treff et al., 2013), y en mujeres de élite por encima de 4L/min (Bourdin et al., 2017). A esta capacidad cardiovascular se suman otros factores propios de su disciplina, como la implicación de una gran masa muscular y un retorno venoso optimizado por la posición sentada durante la remada (Volianitis et al., 2020). Esta elevada capacidad aeróbica es fundamental para sostener el altísimo gasto energético que caracteriza al remo de competición (Winkert et al., 2022)

Por otro lado, el sistema anaeróbico también tiene un papel importante, especialmente en momentos donde se requiere una potencia superior a la que el sistema aeróbico puede proporcionar, conocidos como esfuerzos supramáximos, como en la salida o el sprint final (Treff et al., 2013). En estas fases, la vía glucolítica es clave para proporcionar energía rápida (Diry et al., 2022; Pripstein et al., 1999). Aunque aún no se ha establecido un parámetro estándar para medir esta capacidad en remeros, estudios recientes sugieren que la acumulación máxima de lactato podría servir como un buen indicador (Schünemann et al., 2023).

Las capacidades aeróbicas y anaeróbicas están estrechamente relacionadas con las características físicas de los remeros. Estos deportistas suelen tener una complexión corporal imponente, con una estatura media de unos 193 cm y un peso aproximado de 94 kg en hombres (Kerr et al., 2007). Esta constitución física ofrece ventajas biomecánicas evidentes, ya que una mayor talla y masa muscular permiten aplicar más fuerza en cada palada. El gesto técnico del remo implica la participación sincronizada



de los principales grupos musculares piernas (65 %), espalda (25 %) y brazos (10 %) (Martin & Tomescu, 2017), lo que exige una elevada producción de fuerza y energía, beneficiándose por tanto de una masa corporal elevada. Además, el hecho de que el movimiento se realice en posición sentada reduce el gasto energético derivado de sostener el propio peso, lo que favorece a los deportistas con mayor corpulencia (Tittel & Wutscherk, 1992).

Esta ventaja estructural es especialmente importante en los tramos de alta intensidad anaeróbica. Sin embargo, conforme avanza la regata y el esfuerzo depende más del sistema aeróbico, la eficiencia en el uso del oxígeno y de la energía cobra mayor relevancia para mantener el rendimiento (Khosla, 1983).

Por ello, la presencia de grandes dimensiones corporales se considera un rasgo distintivo del perfil del remero de alto rendimiento (Bourdin et al., 2017). Los remeros olímpicos presentan un somatotipo mesomorfo equilibrado, con un desarrollo muscular marcado, bajo porcentaje de grasa corporal y una homogeneidad morfológica notable entre ellos, lo que evidencia una especialización estructural para este deporte (Ackland et al., 2003). Incluso en categorías jóvenes, como cadetes, los deportistas mejor clasificados comienzan a mostrar estas características (Alacid et al., 2011).

#### **1.4. Requerimientos y retos nutricionales del remero de élite**

La exigencia aeróbica y anaeróbica, las características antropométricas de los remeros junto con las elevadas cargas de entrenamiento que pueden llegar a 12 sesiones en seis días, derivan en unos requerimientos nutricionales y energéticos excepcionalmente altos (Boegman & Dziedzic, 2016). Esta combinación de altas demandas y ventanas de recuperación a menudo limitadas genera desafíos nutricionales específicos (Boegman & Dziedzic, 2016).

En este contexto, una estrategia nutricional individualizada y periodizada es fundamental. Dicha estrategia debe ser lo suficientemente flexible para ajustarse a las distintas fases del entrenamiento, cubriendo tanto las necesidades de macronutrientes para el rendimiento y la recuperación, como los micronutrientes clave implicados en la salud del atleta. A continuación, se analizarán en detalle estas necesidades nutricionales, así como los desafíos específicos a los que se enfrentan los remeros para optimizar su estado nutricional.

##### **1.4.1. Requerimientos energéticos y macronutrientes**

El gasto energético diario de estos deportistas es sustancialmente elevado. Estimaciones basadas en ecuaciones de predicción sitúan las necesidades medias en 5.303 kcal para hombres y 4.258 kcal para mujeres, aunque datos de ingestas reportadas en periodos de alto volumen sugieren que estas cifras pueden llegar a alcanzar las 7.000 kcal diarias (Boegman & Dziedzic, 2016). Satisfacer esta demanda energética constituye, por tanto, uno de los principales desafíos para el remero, ya que un aporte insuficiente puede comprometer no solo el rendimiento, sino también la capacidad de adaptación al entrenamiento, la salud y la prevención de lesiones (Winkert et al., 2022).

Dado el elevado volumen e intensidad de entrenamiento (Tabla 10), el aporte periodizado de macronutrientes es fundamental. Cada uno desempeña una función específica y debe ser aportado en función de los objetivos de cada sesión y fase del entrenamiento.

Los CHO constituyen el sustrato energético principal para sostener el entrenamiento de intensidad moderada y alta. Una disponibilidad adecuada de CHO es crucial para mantener la producción de potencia, prevenir la fatiga y evitar estados de sobreentrenamiento (Boegman & Dziedzic, 2016). Las guías nutricionales recomiendan una ingesta diaria de entre 6 y 12 g/kg/día para atletas que, como los remeros, realizan más de tres horas de entrenamiento la mayoría de los días de la semana (Burke et al., 2013). Sin embargo, debido a la elevada masa corporal de estos deportistas, es posible que el extremo superior de este rango sobrestime sus necesidades reales, lo que subraya la importancia de la individualización (Boegman & Dziedzic, 2016).

La alta frecuencia de entrenamiento (Tabla 10) a menudo provoca que los remeros realicen algunas sesiones con una disponibilidad de glucógeno muscular reducida. Si bien esto puede comprometer el rendimiento en sesiones de alta intensidad (Slater & Phillips, 2013), esta situación de "bajo combustible" (*train low*) podría, de manera no intencionada, potenciar las respuestas adaptativas a nivel celular (Close et al., 2016). La periodización del consumo de CHO es, por tanto, clave. Se debe priorizar una alta disponibilidad de glucógeno antes de las sesiones de alta intensidad y las competiciones, mientras que la recuperación rápida entre sesiones (especialmente si hay menos de 8 horas entre ellas) se optimiza con una ingesta de 1,2 g/kg en la primera hora post-ejercicio para maximizar la resíntesis de glucógeno (van Loon et al., 2000). Aun así, la alta carga de entrenamiento, especialmente el componente de resistencia provoca un daño muscular significativo que puede limitar la eficiencia con la que el músculo repone sus reservas de glucógeno, incluso cuando se consume suficiente CHO (Costill et al., 1990; van Loon et al., 2000).

El entrenamiento en remo combina resistencia y fuerza, provocando una elevada tasa de recambio de proteínas musculares. Por ello, la ingesta de proteínas es esencial no solo para reparar el daño muscular, sino también para facilitar la remodelación y las adaptaciones fisiológicas que conducen a una mejora del rendimiento (Morton et al., 2015). Para estimular de manera óptima la síntesis de proteínas musculares (SPM), se recomienda una distribución de la ingesta a lo largo del día, con dosis de 0,4 g/kg por comida (Areta et al., 2013; Morton et al., 2015). Además, será clave el aporte de proteína de alto valor biológico como la leche, los huevos, las carnes y aves, al igual que el aporte de 3 g de leucina lo antes posible tras los entrenos de fuerza (Morton et al., 2015). Esta recomendación es crucial tanto tras el entrenamiento de fuerza como tras el de resistencia, ya que este último también estimula el recambio de proteínas mitocondriales, clave para la mejora de la capacidad aeróbica (Wilkinson et al., 2008).

La ingesta de lípidos debe ajustarse a las necesidades energéticas generales. Ayudan a cubrir el elevado gasto calórico y son esenciales para funciones hormonales y de absorción de vitaminas. No obstante, una dieta excesivamente alta en grasas puede desplazar a los CHO y proteínas, afectando

negativamente la reposición de glucógeno y la reparación tisular. Además, se ha demostrado que dietas crónicas altas en grasas pueden perjudicar el rendimiento en ejercicios de alta intensidad (Close et al., 2016).

La periodización del aporte de carbohidratos y proteínas resulta clave para sostener el rendimiento y favorecer la adaptación al entrenamiento. No obstante, más allá de las recomendaciones generales, es útil conocer las estrategias nutricionales específicas según el objetivo de la sesión y el tipo de entrenamiento realizado. En la Tabla 11 se presenta una síntesis que complementa lo expuesto anteriormente, detallando los objetivos concretos de cada estrategia (como maximizar el rendimiento o inducir adaptaciones metabólicas) y los contextos de aplicación más comunes (zonas de intensidad, sesiones técnicas o de competición).

**Tabla 11.** Estrategias nutricionales en los remeros

	Objetivo	Tipo de entreno
Alta disponibilidad de CHO	Maximizar el rendimiento y soportar la carga, comenzando la sesión con las reservas de glucógeno completas	Z1 de muy larga duración Z2 y Z3 Días de competición
"Train Low"	Búsqueda de adaptaciones metabólicas a largo plazo con bajas reservas de glucógeno.	Z1 de corta duración o enfoque técnico
Nutrición intraentreno	Mantener los niveles de glucosa en sangre y prevenir la fatiga mediante la ingesta de CHO durante el ejercicio.	Z1 de larga duración (>90 min) Z2
Enjuague bucal	Proporcionar un estímulo al sistema nervioso central para reducir la percepción del esfuerzo, sin el aporte calórico.	Z1 en "Train Low" Z3
Recuperación post entreno	Acelerar la reposición de glucógeno y la reparación muscular, preparando al atleta para la siguiente sesión	Aplicable a todas las sesiones (Z1, Z2, Z3, Fuerza), ajustando la ingesta de CHO (1,2 g/kg) y proteína (0,3-0,4 g/kg) según la demanda.

Nota: Adaptado de Boegman & Dziedzic (2016). La estrategia "Train Low" es una técnica recomendada únicamente para atletas experimentados y sin riesgo de enfermedad o sobreentrenamiento

La combinación adecuada de estas estrategias nutricionales permite a los remeros no solo cubrir sus necesidades energéticas y de recuperación en el corto plazo, sino también favorecer adaptaciones fisiológicas específicas que optimizan el rendimiento a largo plazo. Por ejemplo, alternar sesiones con alta y baja disponibilidad de carbohidratos puede mejorar tanto la capacidad de sostener esfuerzos intensos como la eficiencia metabólica en esfuerzos prolongados (Boegman & Dziedzic, 2016). Además, la correcta planificación de la nutrición intraentrenamiento y la recuperación post ejercicio contribuye a mantener la función inmune, reducir el daño muscular y optimizar la disponibilidad de sustratos energéticos entre sesiones (Raysmith & Drew, 2016). En conjunto, estas estrategias, aplicadas de forma personalizada y

según el tipo de sesión, representan una herramienta clave en el soporte nutricional del entrenamiento en remo (Boegman & Dziedzic, 2016).

#### **1.4.2. Micronutrientes de interés en el remo**

Más allá de asegurar un aporte energético adecuado y una correcta ingesta de macronutrientes la salud y el rendimiento del remero de élite dependen de un estado óptimo de micronutrientes. Es fundamental evitar la aparición de lesiones o de enfermedades ya que afectan al rendimiento y a su vez al éxito deportivo. De hecho, se ha observado que los deportistas que experimentaron menos de dos lesiones o episodios de enfermedad por temporada tenían una probabilidad tres veces mayor de alcanzar un rendimiento exitoso en comparación con aquellos que tuvieron dos o más episodios (Ray-Smith & Drew, 2016). Es por ello, que se debe atender a ciertos nutrientes que ayudan a evitar estas interrupciones indeseadas.

Entre ellos está la vitamina D, una vitamina liposoluble que además de su conocido beneficio para la salud ósea (D'Ailly et al., 2016), también se ha observado que puede modular la función del sistema inmunitario (He et al., 2013; Owens et al., 2015). Por ejemplo, un estado óptimo de vitamina D ayuda a reducir la incidencia de infecciones del tracto respiratorio superior (He et al., 2013). Su papel es, además, clave para la prevención de lesiones comunes en los remeros, como las fracturas por estrés en las costillas, donde una adecuada densidad mineral ósea es un factor preventivo fundamental (McDonnell et al., 2011). Los remeros con mayor riesgo de deficiencia son aquellos que entrenan en lugares con baja exposición solar ya que dificulta la síntesis cutánea (Owens et al., 2015). La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria aconseja suplementar en invierno para los atletas con riesgo con el objetivo de evitar las infecciones, lesiones y sobrecarga de entrenamiento (Ray-Smith & Drew, 2016). Se observó que la vitamina D se utilizaba con frecuencia tanto en remeros de peso pesado (65%) como en los de peso ligero (45%) dentro de la población de élite española, lo que refleja su consideración como suplemento estratégico para apoyar la salud ósea, la función inmunitaria y la prevención de lesiones en este colectivo (Domínguez et al., 2020).

Otro micronutriente de especial relevancia es el hierro. Como componente esencial de la hemoglobina, es vital para el transporte de oxígeno y la capacidad aeróbica, un factor determinante del rendimiento en remo (Buratti et al., 2015; DellaValle & Haas, 2011; Reinke et al., 2012). Los remeros son una población de alto riesgo de deficiencia debido al aumento de la hormona hepcidina post-ejercicio, que inhibe su absorción, y a las pérdidas aumentadas por el entrenamiento intenso (Badenhorst et al., 2015; Skarparańska-Stejnborn et al., 2015). Un estado deficiente de hierro, incluso sin anemia, puede mermar significativamente el rendimiento (DellaValle & Haas, 2011). No sorprende, por tanto, que en un estudio descriptivo, el hierro apareciera como uno de los suplementos más utilizados, con una prevalencia del 85% tanto en remeros de peso ligero como pesado dentro de la población de élite española (Domínguez et al., 2020).

**Tabla 12.** Motivo por el déficit de ciertos micronutrientes

Micronutriente	Motivo de déficit
Vitamina D	Baja exposición solar, especialmente durante los entrenos de invierno o instalaciones cubiertas.
Hierro	Aumento de la hepcidina tras el ejercicio intenso bloqueando la absorción

Nota. Elaboración propia a través de la información recopilada y sintetizada (Badenhorst et al., 2015; Owens et al., 2015; Skarpańska-Stejnborn et al., 2015)

Finalmente, aunque no son un micronutriente, los probióticos han ganado interés por su posible papel en la salud intestinal e inmunológica (Pyne et al., 2015). El entrenamiento de alta intensidad, característico de la preparación de los remeros, puede comprometer la integridad de la barrera intestinal y suprimir transitoriamente la función inmunitaria, aumentando la susceptibilidad a enfermedades (Boegman & Dziedzic, 2016). En este contexto, la modulación de la microbiota mediante el uso de probióticos se plantea como una estrategia prometedora para reforzar la función inmune y reducir las interrupciones en los entrenamientos por enfermedad (Pyne et al., 2015). Además, dado que no se han reportado efectos adversos significativos y que su coste suele ser asumible, se recomienda considerar su uso para dichos beneficios en períodos con riesgo de enfermedad, entrenamientos intensos, viajes y en las competiciones (Boegman & Dziedzic, 2016).

### 1.5. Suplementación en el deporte

La suplementación constituye una práctica ampliamente extendida en el deporte de élite, concebida como una herramienta complementaria a las estrategias nutricionales tradicionales (Baltazar-Martins et al., 2019). En el caso de los remeros, la elevada exigencia física de la disciplina, junto con sus características antropométricas y el papel decisivo de la nutrición en el rendimiento, explican la relevancia de su uso (Boegman & Dziedzic, 2016).

Con el objetivo de orientar un uso seguro y eficaz, el Instituto Australiano del Deporte (AIS) ha propuesto una clasificación genérica que agrupa los suplementos en cuatro categorías (A, B, C, D) según el nivel de evidencia científica que respalda su seguridad y eficacia.

**Tabla 13.** Clasificación ABCD según evidencia de suplementación

<b>A</b>	Existencia de pruebas científicas sólidas para su uso en situaciones deportivas mediante protocolos basado en la evidencia.	Alimentos deportivos: Bebida deportiva, gel deportivo, confitería deportiva, barrita deportivas, suplementos de electrolitos, suplementos de proteína aislada, suplemento de macronutrientes mixtos. Suplementos médicos: hierro, calcio, vitamina D, zinc Suplementos de rendimiento: cafeína, b-alanina, nitrato dietético/jugo de remolacha, bicarbonato de sodio, creatina (monohidrato de creatina), glicerol (glicerina)
<b>B</b>	Apoyo científico emergente que necesita algo más de investigación. Su uso se restringe a situaciones de investigación o monitoreo clínico.	Polifenoles alimentarios: cerezas, bayas, grosellas negras y granada Antioxidantes: vitamina C Sabores: mentol, jugo de pepinillos, quinina Otros: carnitina, colágeno, curcumina, membrana de cáscara de huevo, aceite de pescado, suplementos de cetonas, multivitamínico, N-acetilcisteína, probióticos y prebióticos.
<b>C</b>	La evidencia científica no respalda el beneficio ente los atletas o no existe una investigación sobre ello. No se recomienda el uso por parte de los atletas	Magnesio Ácido alfa lipoico (ALA= B-hidroxi B-metilbutirato (HMB) Aminoácidos de cadena ramificada (BCAA) Fosfato S-adenosilmetionina Tirosina Vitamina E
<b>D</b>	Prohibido o con alto riesgo de contaminación con sustancias que podrían dar positivo en la prueba de dopaje.	Estimulantes: efedrina, esticnina sibutramina, metilhexanamina, 1,3-dimtilbutilamina, otros estimulantes a base de hierbas, Prohormonas y potenciadores hormonales: DHEA, androstenediona, 19-norandrostenediona/OL, otras prohormonas, tribulus terrestres. Liberadores de GH y péptidos: GHRP-1 y GHRP-2, CJC-1293 y CJC-1295 Agonistas beta-2: Higenamina Moduladores selectivos del receptor de andrógenos: andarine, ostarina, ligandrol Moduladores metabólicos: GW1516 (Cardarina) Otro: Calostro

Nota. Elaboración propia a partir de la información aportada por el Instituto Australiano del Deporte (AIS, 2021)

### 1.5.1. Suplementación en remeros

Aunque las clasificaciones de suplementos proporcionan un marco de referencia útil, la práctica real entre los deportistas de élite suele diferir de las recomendaciones oficiales. En muchos casos, la decisión de suplementar no proviene directamente de profesionales de la salud, sino de entrenadores u otros miembros del entorno deportivo (Domínguez et al., 2020; Sousa et al., 2013; Tsarouhas et al., 2018; Wiens et al., 2014).

En el remo, la prevalencia y los patrones de consumo reflejan tanto la magnitud de las demandas físicas de la disciplina como la relevancia atribuida a la nutrición en el rendimiento competitivo. Un estudio descriptivo realizado en el equipo nacional español mostró que el 100 % (N=17) de los remeros consumía al menos un suplemento, y que el número de productos utilizados aumentaba conforme lo hacía el nivel de competencia, con un incremento especialmente marcado en el uso de vitamina D (Domínguez et al., 2020).

En dicho estudio, los suplementos más utilizados pertenecían al grupo A del AIS, especialmente el hierro (85 %), la cafeína (85 %), la beta-alanina (85 %), las barritas energéticas (85 %), los complejos vitamínicos (80 %) y las bebidas isotónicas (80 %). No obstante, también se documentó el uso de suplementos de grupos con menor nivel de evidencia. En el grupo B destacaron los BCAA, la glutamina, la vitamina C y la leucina; mientras que en el grupo C, aunque el consumo fue menos frecuente, se observó una mayor diversidad de productos (ocho en el grupo B frente a dieciocho en el grupo C), entre ellos el té verde, la espirulina y la citrulina (Tabla 14).

**Tabla 14.** Suplementación en remeros por categoría de la AIS

Grupo del AIS	Suplemento	%
Grupo A	Hierro	85
	Cafeína	85
	Beta-alanina	85
	Barritas energéticas	85
	Complejos vitamínicos	80
	Bebidas isotónicas	80
	Bicarbonato	75
	Creatina monohidrato	70
	Proteína Whey	65
	Cho	50
	Electrólitos	45
	Vitamina D	45
	Caseína	15
	Maltodextrina	10
	Proteína de carne	10
	Complejo mineral	10
	Creatina Alcalina	5
Grupo B	BCAA	60
	Glutamina	50
	Vitamina C	45
	Leucina	30
	Ácidos grasos $\omega$ -3	25
	Vitamina E	20
	L carnitina	5

Grupo C	Melatonina	40
	Arginina	35
	Té verde	30
	Pre-entreno	25
	Taurina	20
	Zinc	15
	Ácidos grasos $\omega$ -6	10
	Ácidos grasos $\omega$ -9	10
	Aminoácidos	10
	esenciales	10
	Citrulina malato	10
	Espirulina	10
	Ginseng	10
	Guaraná	10
	Magnesio	10
	Chitosan	5
	Colageno	5
	Royal Jelly	5
	Vitamina K	5

Nota. Adaptado de Domínguez et al. (2020).

Estos resultados son coherentes con la tendencia observada en atletas de otras disciplinas, donde la prevalencia de uso de suplementos dietéticos resulta muy elevada. En una muestra de 527 deportistas de élite españoles, el 64 % reportó consumir suplementos durante entrenamiento y/o competición, observándose además que el 18 % de los productos utilizados presentaban un bajo nivel de evidencia científica (Baltazar-Martins et al., 2019). Por su parte, en un estudio con 778 atletas holandeses de élite y subélite se encontró una prevalencia aún mayor, del 84,7 %, asociada a un consumo más orientado hacia suplementos con respaldo científico cuando los deportistas contaban con asesoramiento nutricional especializado (Wardenaar et al., 2017).

Además, la elección de suplementos no depende únicamente de las necesidades fisiológicas del deporte, sino también de factores como el sexo, la edad, nivel de conocimiento, del atleta y del tipo de deporte (Garthe & Maughan, 2018). Por ejemplo, los hombres suelen inclinarse hacia el consumo de proteínas en polvo, mientras que las mujeres muestran una mayor prevalencia en la ingesta de vitaminas y minerales, destacando el hierro como suplemento de interés particular (Aguilar-Navarro et al., 2021).

La motivación principal para el consumo de suplementos suele estar ligada a la mejora del rendimiento, la aceleración de la recuperación o la reducción de la fatiga (Sousa et al., 2013). Sin embargo, varios estudios han señalado que muchos deportistas confían más en su propio criterio o en el de su entorno cercano que en profesionales de la nutrición a la hora de planificar su suplementación (Domínguez et al., 2020; Sousa et al., 2013; Tsarouhas et al., 2018; Wiens et al., 2014). Esto puede derivar en elecciones menos eficaces o incluso innecesarias, lo que refuerza la importancia de integrar al dietista-nutricionista deportivo en el equipo técnico para garantizar estrategias seguras y basadas en la evidencia (Wardenaar et al., 2017).



### 1.5.2. Enfoques de la suplementación

Enfocándonos en los atletas remeros, el consumo de suplementos responde a diferentes enfoques estratégicos, que buscan cubrir tanto las necesidades inmediatas del rendimiento como los aspectos relacionados con la salud y la recuperación.

En primer lugar, se orienta a la optimización del rendimiento en regatas, donde cobran protagonismo los alimentos deportivos (geles, barritas, bebidas isotónicas) que facilitan la reposición de energía e hidratación, así como los suplementos ergogénicos con mayor respaldo científico. Entre ellos, la cafeína destaca por su efecto estimulante sobre el sistema nervioso central, lo que favorece la contracción muscular, aumenta la motivación, reduce la percepción del esfuerzo y la fatiga, y disminuye la sensación de dolor (Carr et al., 2011; Close et al., 2016). La beta-alanina, precursora de la carnosina, contribuye a amortiguar la acumulación de iones de hidrógeno durante esfuerzos de alta intensidad, retrasando la aparición de la fatiga (Hobson et al., 2013). De manera complementaria, el bicarbonato sódico, empleado de forma aislada o combinado con beta-alanina, potencia la capacidad de tamponamiento extracelular y ha mostrado beneficios en pruebas de remo de 2000 metros (Hobson et al., 2013).

En segundo lugar, los suplementos cumplen un papel clave en la corrección de deficiencias nutricionales derivadas de la alta exigencia del entrenamiento y la competición (Tabla 12). En este contexto destacan el hierro y la vitamina D, cuyo consumo fue especialmente elevado en el equipo nacional español (Domínguez et al., 2020).

Por último, un tercer enfoque, y el más relevante para esta revisión, está orientado a atenuar los efectos fisiológicos negativos del entrenamiento de alta intensidad. El ejercicio extenuante en el remo genera cambios homeostáticos que se manifiesta en estrés oxidativo, inflamación, daño muscular, alteraciones hematológicas y cambios hormonales. Para contrarrestar estos efectos, se ha investigado el uso de diversos suplementos, como los polifenoles del zumo de granada (Urbaniak et al., 2018) y el extracto de arándano (Stejnborn et al., 2017), o nutrientes como el HMB (Fernández-Landa et al., 2020). Estos suplementos se encuentran en categorías de evidencia emergente, y su eficacia real sigue siendo un área activa de investigación (Boegman & Dziedzic, 2016; Held et al., 2023).

El estrés oxidativo aparece debido al elevado consumo de oxígeno durante el ejercicio intenso, el cual acelera la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en la mitocondria, superando la capacidad del sistema de defensa antioxidante del organismo (Carvajal Carvajal, 2019).

Por esta razón, la capacidad antioxidante total (TAC) del plasma se ha establecido como un biomarcador fundamental en la investigación deportiva (Urbaniak et al., 2018). La TAC refleja la capacidad del plasma para neutralizar los radicales libres, y su disminución post-ejercicio indica que las defensas antioxidantes están siendo superadas por el aumento de ROS (Stejnborn et al., 2017). En este contexto, los suplementos ricos en polifenoles, como el zumo de granada o el extracto de arándano, se están estudiando como una estrategia eficaz para reforzar estas defensas, tal como muestran los trabajos de

Stejnborn et al. (2017) y Urbaniak et al. (2018). En estos estudios, la TAC se evalúa antes y después del periodo de suplementación, constituyendo una herramienta metodológica clave para determinar si el suplemento mejora efectivamente la resiliencia del atleta frente al estrés oxidativo.

El desequilibrio entre los ROS y la TAC conduce al daño de lípidos, proteínas y ADN, provoca daño en lípidos, proteínas y ADN, lo que contribuye al deterioro muscular y a la inflamación (Finaud et al., 2006). Este fenómeno está relacionado con el síndrome de sobreentrenamiento, especialmente relevante en atletas de élite debido a la alta carga de trabajo y el limitado tiempo de recuperación. Dicho síndrome se asocia con una mayor incidencia de lesiones y una disminución del rendimiento deportivo (Margaritelis et al., 2016). El daño muscular suele evaluarse mediante la cuantificación en sangre de enzimas como la CK y la lactato deshidrogenasa (LDH). En respuesta a este daño, se desencadena un proceso inflamatorio que se monitoriza a través de marcadores como la interleucina-6 (IL-6) y la proteína C-reactiva (CRP). Algunos estudios han analizado el efecto protector de suplementos como el GliSODin sobre estos biomarcadores en remeros (Dudašova Petrovičova et al., 2022, 2023).

Además, el estrés crónico del entrenamiento afecta el equilibrio hormonal entre la testosterona (anabólica) y el cortisol (catabólica), cuyo ratio testosterona/cortisol (T/C) sirve como indicador de fatiga o recuperación (Fernández-Landa et al., 2020). Finalmente, el entrenamiento de resistencia tiene un impacto significativo en el perfil hematológico, pudiendo afectar el metabolismo del hierro y los niveles de hemoglobina, parámetros cruciales para el transporte de oxígeno (Mielgo-Ayuso et al., 2018).

### **1.5.3. Estado actual de la evidencia sobre la suplementación en remeros**

La investigación sobre suplementación en remo se encuentra aún en una fase inicial. La escasez de ensayos clínicos específicos y la heterogeneidad de las muestras dificultan la realización de metaanálisis convencionales y limitan la solidez de las conclusiones actuales. Hasta la fecha, destacan únicamente dos trabajos de referencia: una revisión narrativa de Boegman & Dziedzic (2016) y un metaanálisis en red de Held et al. (2023). Ambos coinciden en señalar la falta de estudios centrados exclusivamente en esta disciplina y en subrayar la necesidad de ampliar la evidencia científica en este ámbito.

La revisión de Boegman & Dziedzic (2016), cuyo período de búsqueda finalizó en 2015, abordó tanto estrategias nutricionales como suplementos dirigidos a la salud y el rendimiento. Entre los compuestos con mayor respaldo científico identificaron la cafeína, la beta-alanina, el bicarbonato de sodio y el jugo de remolacha. Otros, como los antioxidantes, el concentrado de cereza ácida o el HMB, fueron clasificados como prometedores, aunque con un nivel de evidencia insuficiente.

Posteriormente, Held et al. (2023) emplearon un enfoque metodológico más avanzado mediante un metaanálisis en red, herramienta estadística que permite optimizar el análisis pese al reducido número de ensayos disponibles. Este trabajo, que incluyó estudios hasta 2020, se centró exclusivamente en el rendimiento. Sus resultados confirmaron el efecto ergogénico agudo de la cafeína en pruebas contrarreloj y sugirieron beneficios crónicos derivados de la combinación de creatina y HMB, probablemente asociados

a una mayor eficiencia circulatoria y metabólica. En contraste, alertaron de que la suplementación prolongada con espirulina o grosella negra podría interferir en las adaptaciones al entrenamiento.

Un aspecto común de estas revisiones es que se enfocan en el rendimiento, sin considerar de forma específica la recuperación. Este vacío resulta especialmente relevante dado el elevado volumen e intensidad de entrenamiento al que están sometidos los remeros (Tabla 10), lo que incrementa el interés por estrategias nutricionales orientadas a modular el daño muscular, el estrés oxidativo, la inflamación y el equilibrio hormonal.

En los últimos años, han surgido estudios que abordan directamente la recuperación en esta población. Algunos reevalúan el papel del HMB, tanto de forma aislada como en combinación con creatina (Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015; Fernández-Landa et al., 2020). Asimismo, se han explorado suplementos con potencial modulador del estrés fisiológico y de la recuperación, como el extracto de granada, el arándano, la superóxido dismutasa con gliadina y la vitamina D (Dudašova Petrovičova et al., 2022, 2023; Mielgo-Ayuso et al., 2018; Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018).

En este contexto, el presente trabajo propone una revisión sistemática centrada en los efectos de la suplementación sobre la recuperación tras el esfuerzo en remeros, con el objetivo de ofrecer una visión actualizada y completa sobre su papel en esta disciplina.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo principal de esta revisión sistemática es analizar y sintetizar la evidencia científica publicada desde 2015 sobre la eficacia de distintos suplementos, incluyendo antioxidantes (polifenoles, enzimas), agentes metabólicos como el HMB y micronutrientes como la vitamina D, para modular marcadores clave de la recuperación fisiológica, entre ellos el estrés oxidativo, el daño muscular y las alteraciones hormonales, en remeros de élite.

Para alcanzar este objetivo principal, se establecieron los siguientes objetivos secundarios:

1. Evaluar el efecto de los suplementos analizados sobre los marcadores del equilibrio redox, incluyendo la capacidad antioxidante total y los indicadores de estrés oxidativo.
2. Determinar la eficacia de las intervenciones para atenuar los marcadores de daño muscular inducido por el ejercicio y la respuesta inflamatoria sistémica.
3. Analizar el impacto de la suplementación en la modulación del perfil hormonal anabólico-catabólico y el estado hematológico.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Estrategia de búsqueda

La búsqueda sistemática de la literatura se realizó siguiendo las directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) según la versión actualizada de 2020 (Page et al., 2021).

La estrategia de búsqueda se inició el 12 de marzo de 2025, consultando las siguientes bases de datos electrónicas: PubMed, Sportdiscus y Scopus. En PubMed se aplicó dos filtros; uno temporal (últimos 10 años) y otro por tipo de estudio (ensayo controlado aleatorizado).

Posteriormente, el 29 de abril, se realizó en una búsqueda complementaria a través del portal de la biblioteca de la universidad de Valencia, que ofrece acceso a múltiples bases de datos científicas como Science Citation Index, Science Citation Index Expanded, Scopus Complementary Index, Directory of Open Access Journals (DOAJ) y Academic Search Ultimate. En el portal de la institución solo se pudo realizar el filtro temporal, seleccionando manualmente el tipo de estudio, a través de la lectura de los títulos y los resúmenes.

Todas las búsquedas se realizaron utilizando términos libres. Al descubrir los términos MeSH, posteriormente, se comparó el uso del término libre “supplementation” frente al descriptor “Dietary Supplements”, así como “children” frente a “Child” y “pregnancy”, observando una reducción del número de resultados al emplear los descriptores. Dado que algunos estudios relevantes dejaban de aparecer al aplicar únicamente MeSH, se decidió mantener una estrategia híbrida con términos libres para asegurar la sensibilidad de la búsqueda. El término “rowers” se utilizó como palabra libre, ya que no existe un descriptor MeSH específico para esta población. Finalmente, la estrategia de búsqueda aplicada en todas las bases de datos fue: [supplementation AND rowers NOT (pregnancy OR children )].

#### 3.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión seguidos en esa lectura fueron; 1) ensayo controlado aleatorizado publicados en revistas revisada por pares; 2) remeros de categoría senior sanos; 3) intervención basada en ayudas ergogénicas a través de los suplementos.

Mientras que los criterios de exclusión: 1) todos aquellos estudios que no fueran ensayos controlados aleatorizados; 2) estudios cuya población no fueran remeros adultos, es decir, se excluyeron los que no practicaban remo o eran de categoría junior 3) estudios publicados como resúmenes de congresos (póster) 4) los estudios realizados en animales 5) y, por último, aquellos estudios que no se centran en suplementos para la recuperación.

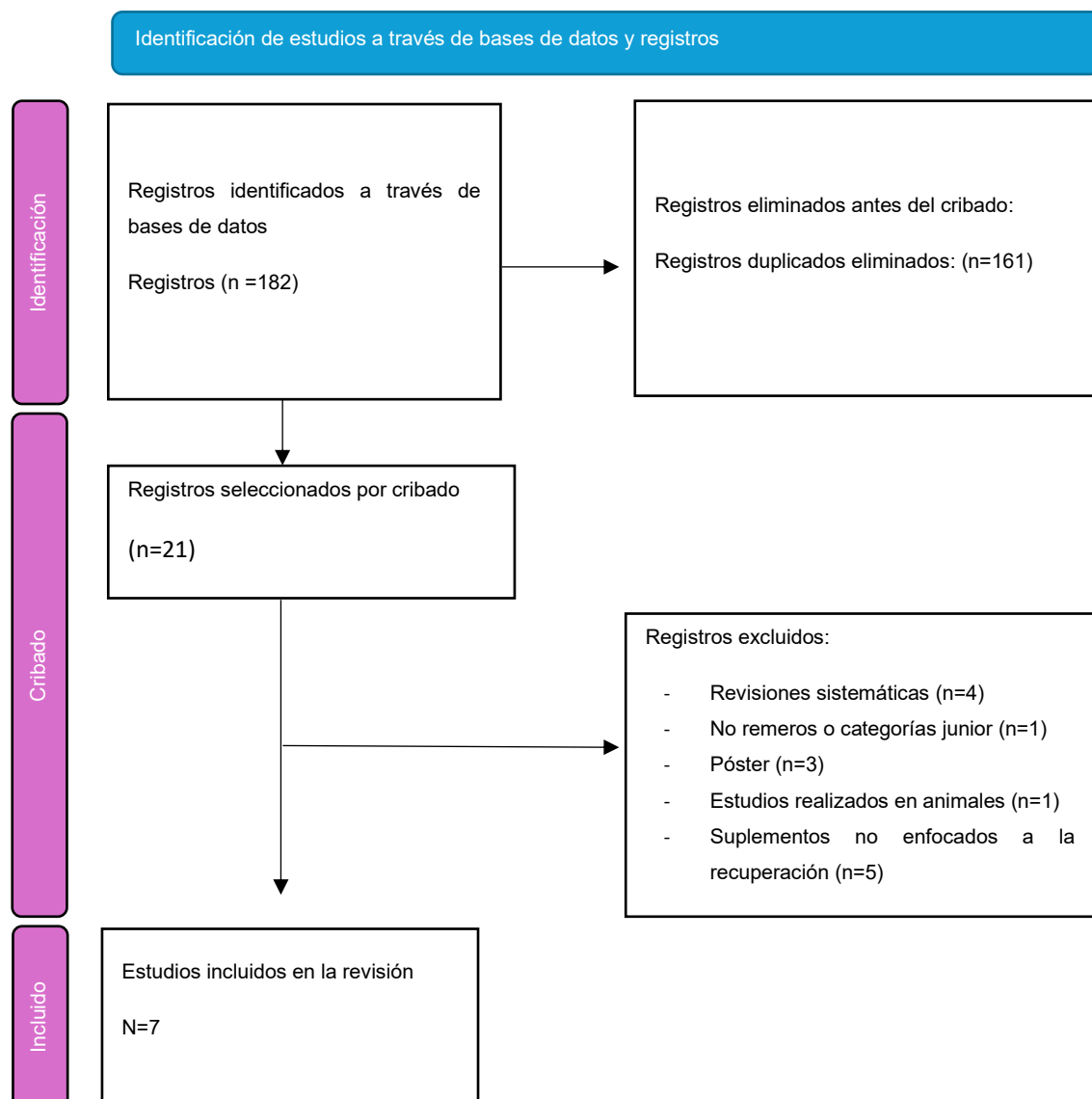
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Proceso de selección de los estudios

El proceso de selección de los estudios se resume en el diagrama de flujo PRISMA (Figura 1). La búsqueda inicial en las bases de datos (PubMed, Scopus, Sportdiscus, Portal de la Biblioteca UV) identificó un total de 182 registros. Tras la eliminación de 161 duplicados, se procedió al cribado de 21 artículos por título y resumen.

Durante esta fase de cribado, se excluyeron 14 registros por no cumplir los criterios de inclusión. Los 7 artículos restantes fueron recuperados para su evaluación a texto completo. Tras la lectura completa, se confirmó que todos cumplían con los criterios de elegibilidad, por lo que finalmente se incluyeron un total de 7 estudios en la presente revisión sistemática.

**Figura 1.** Diagrama de flujo prisma 2020



Nota. Elaboración propia basado en las guías de Prisma (Page et al., 2021).

#### 4.2. Características de los estudios

Las características generales de los estudios incluidos en esta revisión se resumen en la Tabla 15. En total, se seleccionaron siete ensayos publicados entre 2015 y 2023, todos ellos con un diseño metodológico riguroso. Seis de los trabajos fueron ensayos controlados aleatorizados (ECA-DB-CP), doble ciego y controlados con placebo, lo que garantiza un alto nivel de evidencia y minimiza el riesgo de sesgos. El séptimo estudio correspondió a un ensayo cruzado aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo (ECAC-DB-CP), un diseño que permite comparar los efectos de la intervención y el placebo dentro de los mismos sujetos, incrementando la validez interna de los resultados.

La muestra total estuvo compuesta por 173 remeros varones, todos ellos atletas de élite y miembros de equipos nacionales, principalmente de Polonia (Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015; Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018), Serbia (Dudašova Petrovičova et al., 2022, 2023) y España (Fernández-Landa et al., 2020; Mielgo-Ayuso et al., 2018). La homogeneidad en las características de los participantes fue un aspecto común en todos los ensayos: ninguno reportó diferencias significativas entre los grupos intervención y placebo en variables como la edad, la talla o el peso corporal promedio, lo que contribuye a la fiabilidad de los hallazgos y a reducir posibles factores de confusión.

En cuanto a las intervenciones, los estudios abarcaron un rango de 6 a 12 semanas de suplementación (Tabla 17). En total, se evaluaron seis suplementos distintos, seleccionados para evaluar los procesos de recuperación fisiológica tras el ejercicio intenso, con especial atención a marcadores de daño muscular, inflamación, estrés oxidativo y regulación hormonal.

Entre ellos, observamos el trabajo de Fernández-Landa et al. (2020), que evaluó el impacto de la creatina y el HMB, tanto de forma aislada como en combinación, explorando posibles sinergias entre ambos. A su vez, Durkalec-Michalski & Jeszka (2022) se centraron exclusivamente en el HMB.

Una parte relevante de la evidencia recopilada corresponde a estudios orientados al estrés oxidativo y la inflamación, mediante la administración de antioxidantes de origen natural. Así, se incluyen trabajos sobre extractos de granada (POM), arándanos rojos y melón rico en superóxido dismutasa (SOD) combinado con gliadina (Dudašova Petrovičova et al., 2022, 2023; Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018). Finalmente, Mielgo-Ayuso et al. (2018) analizaron los efectos de la suplementación con vitamina D.

**Tabla 15.** Características bases de los estudios

Estudio	Suplemento	Tipo de estudio	N	Contexto	Edad (años ± DE)	Peso (kg ± DE) Altura (cm ± DE)
(Urbaniak et al., 2018)	Extracto de granada	ECA-DB-CP	19	Miembros del equipo nacional de Polonia (élite)	GI (n=10) - 20.8 ± 0.86 GC (n=9) - 20.9 ± 0.95	GI (n=10) - Peso: 89.4 ± 8.97 - Altura: 192.1 ± 6.64 GC (n=9) - Peso: 83.85 ± 12.04 - Altura: 189.6 ± 5.79
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos rojos	ECA-DB-CP	16	Miembros del equipo nacional de Polonia (élite)	GI (n=9) - 21.3 ± 0.82 GC (n=7) - 21.3 ± 0.71	GI (n=9) - Peso: 93.6 ± 6.02 - Altura: 192.6 ± 6.53 GC (n=7) - Peso: 81.6 ± 9.44 - Altura: 189.0 ± 4.62
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	SOD con gliadina	ECA-DB-CP	28	Remeros de nivel internacional de Serbia (élite)	GI (n=15) - 25.5 ± 5.4 GC (n=13) - 21.8 ± 5.5	GI (n=15) - Peso: 93.6 ± 6.02 - Altura: 186.0 ± 0.08 GC (n=13) - Peso: 82.1 ± 10.9 - Altura: 189.0 ± 4.62
(Dudašova Petrovičova et al., 2023)	SOD con gliadin	ECA-DB-CP	30	Remeros de nivel internacional de Serbia (élite)	GI (n=15) - 25.5 ± 5.4 GC (n=15) - 22.1 ± 5.7	GI (n=15) - Peso: 86.4 ± 8.7 - Altura: 186.0 ± 0.08 GC (n=15) - Peso: 84 ± 11.2 - Altura: 188.0 ± 0.08
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	HMB	ECAC-DB-CP	16	Miembros del equipo nacional de Polonia (élite)	N=16 - 19.5 ± 1.4	N=16 - Peso: 87.3 ± 9.8 - Altura: 187 ± 5
(Fernández-Landa et al., 2020)	HMB- creatina	ECA-DB-CP	28	Remeros de élite (España)	N=28 - 30.43 ± 4.65	GC (n=7) - Peso: 81.9 ± 6.3 - Altura: 184.9 ± 2.4 CrMG (n=7) - Peso: 81.2 ± 5.0 - Altura: 183.4 ± 7.8 HMBG (n=7) - Peso: 79.9 ± 12.2 - Altura: 185.5 ± 10.1 CrMG-HMBG (n=7) - Peso: 78.0 ± 4.7 - Altura: 181.6 ± 4.3
(Mielgo-Ayuso et al., 2018)	V. D	ECA-DB-CP	36	Remeros de élite (España)	N=36 - 27	GI (n=18) - Peso: 76.19 ± 10.07 - Altura: 179.70 ± 9.07 GC (n=18) - Peso: 77.02 ± 7.55 - Altura: 181.05 ± 3.39

Nota. Elaboración propia. N: Tamaño muestral, ECAC-DB-CP: Ensayo cruzado aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo, ECA-DB-CP: GC: Ensayo controlado aleatorizado, doble ciego y con placebo, GC: grupo control, GI: grupo de intervención, CrMG: grupo creatina monohidrato, HMBG: grupo β-hidroxi β-metilbutirato, CrMG-HMBG: grupo de creatina monohidrato y β-hidroxi β-metilbutirato

La calidad metodológica de los ensayos incluidos fue evaluada mediante la escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database, 2025), una herramienta diseñada para valorar la calidad de los ensayos clínicos (Tabla 16). La puntuación media de los estudios fue de 10.3 sobre un máximo de 11, lo que indica una alta calidad metodológica general. La debilidad más común reportada fue la falta del análisis por intención de tratar, aunque la mayoría de los estudios reportaron un seguimiento completo de los participantes. Todos los estudios utilizaron medidas de ocultación para el placebo por lo que ningún participante sabía su grupo.

**Tabla 16.** Escala PEDro

ESTUDIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(Urbaniak et al., 2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10
(Stejnborn et al., 2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10
(Dudašova Petrovičova et al., 2023)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10
(Fernández-Landa et al., 2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
(Mielgo-Ayuso et al., 2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
<b>PROMEDIO</b>											10,3

Nota. Elaboración propia (Physiotherapy Evidence Database, 2025).

Las estrategias que evaluaban los estudios pueden agruparse en 2 categorías principales según su fundamento fisiológico.

El primer enfoque se centró en la modulación del estrés oxidativo mediante el uso de compuestos antioxidantes. Dentro de esta categoría, se analizaron fuentes ricas en polifenoles, como el zumo de granada y el extracto de arándano rojo, con el objetivo de observar la TAC del plasma y los procesos inflamatorios secundarios (Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018). De forma complementaria, se investigó el potencial de los antioxidantes enzimáticos a través de la suplementación con Glisodin, un extracto de melón rico en SOD, además de observar la capacidad antioxidante, también evaluó los marcadores de daño molecular como la peroxidación lipídica y, consecuentemente, el daño muscular (Dudašova Petrovičova et al., 2022, 2023).

Un segundo grupo de estudios se enfocó en la atenuación del daño muscular y la optimización del estado metabólico y hormonal. En esta línea, se evaluó el  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilbutirato, un metabolito de la leucina conocido por su potencial anticatabólico, tanto de forma aislada (Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015) como en combinación con monohidrato de creatina, con el fin de reducir los marcadores de daño muscular (CK, LDH) y promover un entorno hormonal más anabólico, medido a través del ratio testosterona/cortisol (Fernández-Landa et al., 2020). Asimismo, se estudió la Vitamina D para evaluar su impacto multifactorial sobre el perfil hormonal y los parámetros hematológicos relacionados con el metabolismo del hierro (Mielgo-Ayuso et al., 2018).



**Tabla 17.** Objetivos de los estudios y la metodología utilizada.

Suplemento	Objetivo	Dosis y duración	Prueba	Muestreo	Variables
Extracto de granada	Analizar el efecto de la suplementación con POM sobre la capacidad antioxidante, citoquinas proinflamatorias, hepcidina y marcadores del metabolismo del hierro en remeros entrenados	n=10; 50 ml/día × 8 semanas	Entrenamiento + Test de remo de 2000 m en ergómetro al ritmo máximo, al inicio y al final del estudio	Muestras de sangre al inicio y al final del estudio (pre-test, post-test 1 min y tras 24h)	TAC, IL-6, hepcidina, concentración de hierro, mioglobina sérica, ferritina sérica, CK
Extracto de arándanos rojos	Analizar el efecto de la suplementación con arándano rojo sobre la capacidad antioxidante, citoquinas proinflamatorias, hepcidina y marcadores del metabolismo del hierro en remeros sometidos a ejercicio exhaustivo.	n=9; 1200 mg extracto/día (2×720 mg) × 6 semanas	Entrenamiento + Test de remo de 2000 m en ergómetro al ritmo máximo, al inicio y al final del estudio	Muestras de sangre al inicio y al final del estudio (pre-test, post-test 1 min y tras 24h)	TAC, IL-6, TNF-α, ferritina, hierro, sTfR, mioglobina
SOD con Gliadina	Evaluar efecto de SOD vegetal sobre citoquinas proinflamatorias, capacidad antioxidante y daño muscular en remeros de nivel internacional	n=15; 500 mg/día (2×250 mg) × 6 semanas	Entrenamiento + Test de remo en un ergómetro con carga de ejercicio interválica creciente., al inicio y al final del estudio.	Muestras de sangre al inicio y al final del test y del estudio (pre-test, post-test 10 min)	TAC, IL-6, CRP, lactato capilar, CK, LDH
SOD con Gliadin	Investigar los efectos de la suplementación del extracto de melón rico SOD con GliSODin sobre inflamación en atletas.	n=15; 500 mg/día (2×250 mg) × 6 semanas	Entrenamiento + Test de remo en un ergómetro con carga de ejercicio interválica creciente., al inicio y al final del estudio	Muestras de sangre al inicio y al final del test y del estudio (pre-test, post-test 10 min)	TAC, TOS, OSI, CRP, IL-6
HMB	Evaluar el efecto de 12 semanas de suplementación con HMB en los niveles de marcadores bioquímicos en remeros.	n=16; 3g/día (3×1g) × 12 semanas; periodo de limpieza de 10 días	Test en cicloergómetro Kettler X1, con intensidad creciente, al inicio y al final del estudio	Muestras de sangre al inicio y al final de las suplementaciones y el estudio	CK, LDH, testosterona, cortisol, ratio T/C
HMB-creatina	Determinar el efecto de 10 semanas de suplementación con CrM y HMB, tanto de forma aislada como combinada, sobre el EIMD y el estado hormonal (anabólico/catabólico)	CrMG (n=7): 0.04g/kg/día HMB (n=7): 3 g/día CrMG-HMBG (n=7) 0.04 g/kg/día CrM + 3 g/día HMB × 10 semanas	Entrenamiento normal (6 sesiones/semana; 1.5h/día)	Muestras de sangre al inicio y al final del estudio (12h de ayuno y 36h sin ejercicio)	CK, AST, LDH, testosterona, cortisol
V. D	Evaluar la influencia de 8 semanas de suplementación con 3000 UI/día de vitamina D3 en el perfil hematológico, metabolismo del hierro y niveles de testosterona y cortisol en remeros de élite masculinos	n=18; 3000 UI/día × 8 semanas	Entrenamiento normal (15h/semanales)	Muestras de sangre al inicio y al final del estudio (12h de ayuno y 36h sin ejercicio)	Testosterona, cortisol, relación T/C, hemoglobina, hematocrito, transferrina,

Nota. Elaboración propia, TAC: capacidad antioxidante total, TNF-α: Factor de necrosis tumoral alfa, CrM: creatina, HMB: β-hidroxi-β-metilbutirato, EIMD: daño muscular inducido por el ejercicio, CrMG: grupo creatina monohidrato, HMBG: grupo β-hidroxi β-metilbutirato, CrMG-HMBG: grupo de creatina monohidrato y β-hidroxi β-metilbutirato, AST: aspartato aminotransferasa, LDH: lactato deshidrogenasa, CK: creatina cinasa,

Las metodologías empleadas en los siete estudios, si bien compartían un diseño de intervención pre-post, mostraron diferencias clave en los protocolos de prueba y muestreo para evaluar los efectos de los suplementos (Tabla 17).

Cinco de los estudios se basaron en una respuesta aguda a un test de esfuerzo máximo realizado en los días de muestreo. Dentro de este grupo, los estudios sobre polifenoles (extractos de granada y arándano rojo) utilizaron un test de 2000 metros en remoergómetro, recogiendo muestras en tres momentos: en reposo (pre-test), inmediatamente después (1 min post-test) y tras 24 horas de recuperación.

Por su parte, los dos estudios con GliSODin (SOD) aplicaron un test incremental en remoergómetro, con un muestreo en dos puntos: pre-test y 10 minutos post-test.

El estudio exclusivo de HMB se distinguió por emplear un test incremental en cicloergómetro y una única toma de muestra 20-25 minutos después del ejercicio.

En contraste, los dos estudios restantes (Vitamina D y la combinación HMB-creatina) adoptaron un enfoque de evaluación crónica, sin incluir un test de esfuerzo agudo en los días de muestreo. En estos casos, optaron por recoger las muestras en condiciones basales y de reposo (tras un mínimo de 36 horas sin ejercicio) para medir los efectos adaptativos de la suplementación a largo plazo.

#### 4.3. Resultados de los estudios sobre los marcadores fisiológicos de recuperación

##### 4.3.1. Modulación del estrés oxidativo y la capacidad antioxidante

Los suplementos evaluados fueron: zumo de granada, extracto de arándano rojo y GliSODin.

##### A. Suplementos ricos en polifenoles

Dos estudios investigaron extractos de frutas con alto contenido en polifenoles, compuestos conocidos por su actividad antioxidante (Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018)

El estudio de Urbaniak et al. (2018) evaluó el efecto de la ingesta diaria de 50 ml de zumo de granada durante ocho semanas. Midieron la TAC en suero y observaron que la suplementación potenció significativamente el sistema de defensa antioxidante ( $p < 0.002$ ). Específicamente, tras el período de intervención, el grupo suplementado mostró niveles de TAC significativamente más elevados en la fase de recuperación (24 horas post-ejercicio) en comparación con el grupo placebo ( $x \pm DE$ ,  $2.49 \pm 0.39$  vs.  $1.88 \pm 0.45$ ,  $p < 0.05$ ) (Tabla 18).

De manera similar, Stejnborn et al. (2017) analizaron el efecto de 1200 mg/día de extracto de arándano durante seis semanas. Sus hallazgos mostraron que, tras la suplementación, el grupo que consumió arándano rojo mostró niveles de TAC significativamente más altos en los puntos de medición de reposo y recuperación en comparación con el grupo placebo (Tabla 18).

## B. Suplementos enzimáticos

Otros dos estudios analizaron un suplemento enzimático destinado a potenciar las defensas endógenas.

Ambos trabajos de Dudašova Petrovičova et al. (2022, 2023) evaluaron la suplementación con 500 mg/día de GliSODin, un extracto de melón rico en la enzima SOD, durante seis semanas. A diferencia de los estudios con polifenoles, en ninguno de los dos se encontraron diferencias significativas en la capacidad antioxidante total (TAC/TAS) entre los grupos. Sin embargo, el estudio más reciente de 2023 amplió el análisis a marcadores más directos del estrés oxidativo, revelando que la suplementación con GliSODin redujo significativamente el estatus oxidante total (TOS) ( $p=0.010$ ) y el índice de estrés oxidativo (OSI) ( $p=0.004$ ) en comparación con el placebo después de un test de esfuerzo.

**Tabla 18.** Efectos de la suplementación sobre marcadores de equilibrio redox en remeros

Estudio	Suplemento	Parámetro (unidades)	Momento de la medición	GI valor	GC valor	p-valor
(Urbaniak et al., 2018)	Extracto de granada	TAC (mmol/L $\pm$ DE)	Recuperación (24 post-test)	2.49 $\pm$ 0.39 (n = 10)	1.88 $\pm$ 0.45 (n = 9)	$p < 0.05$
			Pre-test	1.50 $\pm$ 0.19 (n = 9)	1.18 $\pm$ 0.35 (n = 7)	$p < 0.05$
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos	TAC (mmol/L $\pm$ DE)	Post-test (1 min)	1.02 $\pm$ 0.23 (n = 9)	0.97 $\pm$ 0.14 (n = 7)	$p > 0.05$
			Recuperación (24h post-test)	1.60 $\pm$ 0.14 (n = 9)	1.10 $\pm$ 0.3 (n = 7)	$p < 0.05$
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	SOD con gliadina	TAC (mmol Trolox / L $\pm$ DE)	Post-test (10 min)	4.12 $\pm$ 0.55 (n = 15)	3.81 $\pm$ 0.59 (n = 13)	$p = 0.162$
		TAS (mmol Trolox / L $\pm$ DE)	Post-test (10 min)	0.412 $\pm$ 0.054 (n = 15)	0.384 $\pm$ 0.052 (n = 15)	$p = 0.146$
(Dudašova Petrovičova et al., 2023)	SOD con gliadina	TOS (mmol H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> equiv. /L $\pm$ DE)	Post-test (10 min)	17.14 $\pm$ 9.58 (n = 15)	29.43 $\pm$ 22.11 (n = 15)	$p = 0.010$
		OSI (Unidades arbitrarias $\pm$ DE)	Post-test (10 min)	4.15 $\pm$ 2.21 (n = 15)	7.77 $\pm$ 5.61 (n = 15)	$p = 0.004$

Nota. Elaboración propia TAC: capacidad antioxidante total, SOD: Superóxido dismutasa, TAS: Estado antioxidante total, TOS: estado oxidante total, OSI: Índice de estrés oxidativo

**Tabla 19.** Resultados cualitativos de los suplementos sobre biomarcadores antioxidantes

Estudio	Suplemento	Parámetro	Resultado principal
(Urbaniak et al., 2018)	Extracto de granada	TAC	↑ TAC significativa en fase de recuperación (tras 24h) frente a placebo
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos	TAC	↑ TAC significativa en reposo y recuperación frente a placebo.
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	SOD con Gliadina	TAC	No diferencias significativas
(Dudašova Petrovičova et al., 2023)	SOD con Gliadina	TOS / OSI	↓ TOS y ↓ OSI significativos (mejor equilibrio redox).

Nota. Elaboración propia TAC: capacidad antioxidante total, SOD: Superóxido dismutasa, TAS: Estado antioxidante total, TOS: estado oxidante total, OSI: Índice de estrés oxidativo

#### 4.3.2. Atenuación del daño muscular y la respuesta inflamatoria

Cinco de los estudios analizaron los efectos de la suplementación sobre los marcadores de daño muscular (CK, LDH, mioglobina, AST) e inflamación (IL-6, CRP, TNF- $\alpha$ ). Varios de estos estudios, que también evaluaron la capacidad antioxidante, buscaron determinar si una mejora en el equilibrio redox se traducían en una menor degradación muscular y una respuesta inflamatoria más controlada.

##### A. Suplementos antioxidantes y antiinflamatorios

El estudio de Dudašova Petrovičova et al. (2022) con GliSODin (extracto de melón rico en SOD) tuvieron resultados favorables para algunos marcadores de inflamación y del daño muscular. Tras seis semanas de suplementación, el grupo que consumió GliSODin presentó niveles significativamente más bajos de CK e IL-6 en reposo (pre-test) frente al placebo (Tabla 19). Además, la respuesta de la IL-6 al ejercicio extenuante también fue menor ( $x \pm DE$  13.33  $\pm$  5.65 vs 16.64  $\pm$  1.85,  $p = 0,050$ ), es decir, el pico de IL-6 alcanzado por el grupo suplementado tras el ejercicio fue significativamente más bajo que el pico alcanzado por el grupo que tomó el placebo.

Por otro lado, el estudio de Stejnborn et al. (2017), si bien la comparación directa entre los grupos intervención y placebo no alcanzó significación estadística, el análisis intragrupo mostró que el aumento post-ejercicio de la mioglobina y el TNF- $\alpha$  solo fue significativo en el grupo placebo ( $p < 0.05$ ), sugiriendo un posible efecto atenuador de la suplementación.

Finalmente, el estudio con zumo de granada de Urbaniak et al., (2018) no encontró efectos significativos de la suplementación sobre los marcadores de inflamación (IL-6).

**Tabla 20.** Efectos de la suplementación sobre marcadores de daño muscular e inflamación en remeros

Estudio	Suplemento	Parámetro (unidades)	Momento de la medición	GI valor	GC valor	p-valor
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	SOD con gliadina	CK (U/L ± DE)	Pre-test	152 ± 63 (n = 15)	215 ± 101 (n = 13)	<b>p = 0.049</b>
		LDH (U/L ± DE)	Pre-test	145 ± 19 (n = 15)	155 ± 19 (n = 13)	<b>p = 0.201</b>
		IL-6 (pg/mL ± DE)	Pre-test	10.59 ± 5.67 (n = 15)	14.44 ± 2.83 (n = 13)	<b>p = 0.035</b>
			Post-test (10 min)	13.33 ± 5.65 (n = 15)	16.64 ± 1.85 (n = 13)	<b>p = 0.050</b>
		CRP (mg/L)	Pre-test	0.68 ± 0.41 (n = 15)	0.62 ± 0.38 (n = 13)	<b>p = 0.677</b>
Estudio	Suplemento	Parámetros (unidades)	Grupos	Pretest	Posttest	p-valor
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos	TNF- α	GI (n = 9)	1.66 ± 0.45	1.91 ± 0.45	<b>p &gt; 0.05</b>
		(pg/ml)	GC (n = 7)	1.86 ± 0.20	2.53 ± 0.48	<b>p &lt; 0.05</b>
		Mioglobina	GI (n = 9)	314.55 ± 56.6	353.9 ± 495.8	<b>p &gt; 0.05</b>
		(ng/ml)	GC (n = 7)	297.32 ± 87,2	436.36 ± 63	<b>p &lt; 0.05</b>

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de los estudios citados. Los valores se presentan como media ± desviación estándar (DE). GI: Grupo de Intervención; GC: Grupo Control; CK: Creatina quinasa; LDH: Lactato deshidrogenasa; IL-6: Interleucina-6; CRP: Proteína C-reactiva; TNF-α: Factor de necrosis tumoral alfa. El p-valor en el estudio de Dudašova Petrovičova et al. (2022) indica la significancia de la comparación entre el GI y el GC en el momento de la medición especificado (Pre-test o Post-test a los 10 minutos). El p-valor de Stejnborn et al. (2017) indica la significancia del cambio dentro de cada grupo (comparación Pre-test vs. Post-test a 1 minuto).

## B. Suplementos metabólicos

Los dos estudios que evaluaron el HMB tanto administrado de forma aislada como en combinación con creatina, no reportaron resultados significativos en los marcadores de daño muscular.

En el estudio de Durkalec-Michalski & Jeszka (2015), tras 12 semanas de suplementación con HMB, tanto el grupo placebo como el suplementado mostraron una disminución de la CK y la lactato deshidrogenasa (LDH) respecto a los valores iniciales. En el grupo placebo, la CK se redujo significativamente en  $83 \text{ U} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $p = 0,008$ ), mientras que en el grupo suplementado la disminución fue de  $87 \text{ U} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $p = 0,004$ ) (Tabla 20). Del mismo modo, la actividad de la LDH descendió en ambos grupos en comparación con los valores basales. (Tabla 22).

Por su parte, el estudio de Fernández-Landa et al. (2020), con una intervención de 10 semanas que incluyó HMB, creatina y su combinación, no encontraron diferencias significativas en los marcadores de daño muscular (CK, LDH y AST) en la interacción grupo por tiempo entre T1 y T2 (Tabla 22).

**Tabla 21.** Niveles de parámetros de daño muscular antes y después de la intervención

Estudio	Suplemento y duración	Parámetro (unidades)	Grupo	T1	T2	p-valor
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	HMB 12 semanas	CK	GI (n=16)	328 ± 160	241 ± 103	p = 0.004
		(U/L ± DE)	GC (n=16)	348 ± 169	265 ± 156	p = 0.008
		LDH	GI (n=16)	318 ± 36	302 ± 35	p = 0.033
		(U/L ± DE)	GC (n=16)	326 ± 45	302 ± 39	p = 0.002
(Fernández-Landa et al., 2020)	HMB Creatina HMB-creatina 10 semanas	AST (U/L)	GC (n = 7)	17.83 ± 2.79	22.00 ± 1.55	p < 0.05
			CrMG (n = 7)	22.33 ± 9.65	23.50 ± 8.89	p > 0.05
			HMBG (n = 7)	18.00 ± 3.29	19.00 ± 6.96	p > 0.05
			CrM-HMBC (n = 7)	21.33 ± 4.68	24.67 ± 7.30	p > 0.05
			GC (n = 7)	190.50 ± 94.79	216.83 ± 97.35	p > 0.05
		CK (UI/L)	CrMG (n = 7)	277.00 ± 171.40	256.33 ± 130.38	p > 0.05
			HMBG (n = 7)	147.50 ± 63.91	243.33 ± 286.42	p > 0.05
			CrM-HMBC (n = 7)	201.67 ± 105.64	260.50 ± 159.28	p > 0.05
			GC (n = 7)	293.17 ± 36.23	310.17 ± 22.98	p > 0.05
		LDH (UI/L)	CrMG (n = 7)	337.00 ± 47.69	337.33 ± 39.20	p > 0.05
			HMBG (n = 7)	340.17 ± 27.64 3	342.17 ± 45.35	p > 0.05
			CrM-HMBC (n = 7)	339.17 ± 24.77	337.83 ± 60.72	p > 0.05
			GC (n = 7)	337.17 ± 24.77	337.83 ± 60.72	p > 0.05

Nota. Elaboración propia a partir de los datos de los estudios citados. Los valores se presentan como media ± desviación estándar (DE). T1: Valores basales antes del inicio de la intervención; T2: Valores tras el período de suplementación. GI: Grupo Intervención; GC: Grupo Control (Placebo); CK: Creatina quinasa; LDH: Lactato deshidrogenasa; AST: Aspartato aminotransferasa; CrMG: Grupo Monohidrato de Creatina; HMBG: Grupo HMB; CrM-HMBG: Grupo Combinado.

**Tabla 22.** Resumen cualitativo de los efectos de la suplementación sobre marcadores de daño muscular e inflamación

Estudio	Suplemento	Parámetros clave	Resultado principal
(Urbaniak et al., 2018)	Extracto de granada	de IL-6	Sin efectos significativos de la suplementación
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos	TNF- $\alpha$ y mioglobina	Tendencia a la atenuación: El $\uparrow$ post-ejercicio de TNF- $\alpha$ y mioglobina fue significativo solo en el grupo placebo. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la comparación global entre grupos.
(Dudašova Petrovičova et al., 2022)	SOD con Gliadina	CK, IL-6	$\downarrow$ CK, IL-significativo en reposo grupo suplementado frente placebo. Menor respuesta de IL-6 tras suplementación y test en grupo suplementado.
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	HMB	CK y LDH	Sin efecto superior al placebo: Ambos grupos (HMB y placebo) mostraron una reducción similar y significativa en CK y LDH, atribuible probablemente a la adaptación al entrenamiento.
(Fernández-Landa et al., 2020)	HMB Creatina HMB-creatina	CK, AST, LDH	Sin efectos significativos: Ninguna de las suplementaciones (aislada o combinada) fue superior al placebo en la reducción de marcadores de daño muscular.

Nota. Elaboración propia

#### 4.3.3. Modulación de los sistemas endocrino y hematológico

El estrés crónico impuesto por el entrenamiento de élite provoca adaptaciones significativas en los sistemas endocrino y hematológico. Cuatro de los estudios revisados se centraron en evaluar cómo diferentes suplementos podían modular el estado anabólico y el metabolismo del hierro.

##### A. Impacto sobre el eje hormonal anabólico/catabólico

Dos estudios evaluaron los efectos de la suplementación sobre el equilibrio entre la testosterona y el cortisol, un indicador clave del estado de recuperación y adaptación al entrenamiento.

El estudio de Fernández-Landa et al. (2020) investigó los efectos del HMB y la creatina, tanto de forma aislada como combinada, durante 10 semanas. La combinación de HMB y creatina (CrM-HMBG) produjo un aumento significativo en los niveles de testosterona ( $p = 0,006$ ) y permitió mantener estable la relación testosterona/cortisol (T/C;  $p = 0,032$ ), a diferencia de los grupos placebo, creatina sola y HMB solo, en los que esta relación disminuyó (Tabla 24).

Por otro lado, el estudio de Durkalec-Michalski & Jeszka (2015), que evaluó el HMB de forma aislada durante 12 semanas, no encontró diferencias significativas en los niveles de testosterona, cortisol o en el ratio T/C en comparación con el placebo. Del mismo modo, el estudio de Mielgo-Ayuso et al. (2018) no encontraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción grupo por tiempo de la testosterona ( $p = 0.852$ ), cortisol ( $p = 0.561$ ) y ratio T/C ( $p = 0.613$ ) entre T1 y T2, y entre los grupos. En la

comparación del mismo grupo en el tiempo se observó una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en el cortisol y la testosterona en ambos grupos, durante el estudio (Tabla 24).

#### **B. Impacto sobre el perfil hematológico y metabolismo del hierro**

Tres estudios evaluaron si la suplementación podía influir en algunos de los parámetros sanguíneos clave.

El estudio de Mielgo-Ayuso et al. (2018) evaluó el efecto de 3000 UI/día de Vitamina D durante ocho semanas. Los resultados mostraron que la suplementación fue eficaz para prevenir el descenso en los niveles de hemoglobina y hematocrito observado en el grupo control. En este grupo, la hemoglobina disminuyó de  $15,54 \pm 0,88$  g/dL a  $15,09 \pm 0,82$  g/dL ( $p = 0,009$ ) y el hematocrito de  $46,04 \pm 2,55\%$  a  $45,29 \pm 2,12\%$  ( $p = 0,019$ ). En contraste, el grupo suplementado mantuvo estables los niveles de hemoglobina ( $14,76 \pm 0,77$  g/dL a  $14,76 \pm 0,58$  g/dL) y mostró un ligero incremento en el hematocrito ( $44,59 \pm 2,27\%$  a  $45,07 \pm 1,74\%$ ). Además, este grupo presentó un aumento significativo en los valores de transferrina en relación al tiempo (T1:  $254,22 \pm 20,69$  mg/dL a T2:  $270,44 \pm 20,08$  mg/dL;  $p < 0,05$ ) (Tabla 23).

Por otro lado, el estudio de Stejnborn et al. (2017) evaluó el efecto de la suplementación con extracto de arándano rojo sobre el metabolismo del hierro. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, se observó que el incremento post-ejercicio de la hepcidina fue significativo únicamente en el grupo placebo, mientras que en el grupo suplementado esta respuesta se atenuó. En los demás parámetros del metabolismo del hierro, como la ferritina y el sTfR, no se encontró ningún resultado.

Finalmente, el estudio de Urbaniak et al. (2018), que evaluó la suplementación con zumo de granada, no encontró diferencias significativas en la concentración de hepcidina ni en otros biomarcadores del metabolismo del hierro analizados tras la intervención (Tabla 24).



**Tabla 23.** Resultados hematológicos y hormonales tras suplementación con HMB, creatina y vitamina D

Estudio	Suplemento y duración	Parámetro (unidades)	Grupo	T1	T2	p-valor
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	HMB 12 semanas	Testosterona (ng/dL)	GI (n=16)	510 ± 202	552 ± 160	p > 0.05
			GC (n=16)	510 ± 154	487 ± 160	p > 0.05
		Cortisol (µg/dL)	GI (n=16)	19.9 ± 5.3	20.6 ± 5.8	p > 0.05
			GC (n=16)	20.0 ± 5.9	20.8 ± 4.1	p > 0.05
		Relación T/C	GI (n=16)	3.39 ± 1.77	3.41 ± 1.08	p > 0.05
			GC (n=16)	3.36 ± 0.99	3.03 ± 1.11	p > 0.05
Estudio	Suplemento y duración	Parámetro (unidades)	Grupo	T1	T2	P (T × G)
(Fernández-Landa et al., 2020)	HMB Cr HMB-Cr 10 semanas		GC (n = 7)	5.22 ± 0.56	4.56 ± 0.84	p = 0.006
		Testosterona (ng/dL)	CrMG (n = 7)	4.27 ± 0.73	4.20 ± 1.12	
			HMBG (n = 7)	4.90 ± 0.95	5.60 ± 1.56	
			CrM-HMBC (n = 7)	4.91 ± 0.87	5.97 ± 1.23*	
		Cortisol (µg/dL)	GC (n = 7)	15.87 ± 2.99	17.93 ± 2.08 *	p = 0.451
			CrMG (n = 7)	15.75 ± 2.78	20.80 ± 6.13 *	
			HMBG (n = 7)	16.32 ± 1.29	23.30 ± 2.97 *	
			CrM-HMBC (n = 7)	18.18 ± 1.13	22.95 ± 1.89 *	
		Relación T/C	GC (n = 7)	33.77 ± 12.03	25.97 ± 6.58 *	p = 0.032
			CrMG (n = 7)	28.04 ± 7.49	22.17 ± 9.90 *	
(Mielgo-Ayuso et al., 2018)	V.D 8 semanas	Testosterona (ng/dL)	GC (n = 18)	5.06 ± 1.41	4,37 ± 0,96 *	p = 0.561
			VD3G (n = 18)	5.37 ± 1.5	4,73 ± 1,28 *	
		Cortisol (µg/dL)	GC (n = 18)	20.44 ± 4.71	17,81 ± 2,16 *	p = 0.852
			VD3G (n = 18)	21,73 ± 4,61	18.18 ± 4.25 *	
		Relación T/C	GC (n = 18)	25.22 ± 6.18	24.49 ± 3.71	p = 0.613
			VD3G (n = 18)	25,66 ± 7,98	27.65 ± 9.53	
		Hemoglobina (g/dL)	GC (n = 18)	15.54 ± 0.88	15.09 ± 0.82 *	p = 0.009
			VD3G (n = 18)	14.76 ± 0.77	14.76 ± 0.58	
		Hematocrito (%)	GC (n = 18)	46.04 ± 2.55	45.29 ± 2.12	p = 0.019
			VD3G (n = 18)	44.59 ± 2.27	45.07 ± 1.74	
		Transferrina (mg/dL)	GC (n = 18)	252.89 ± 46.51	253.22 ± 38.86	p = 0.007
			VD3G (n = 18)	254.22 ± 20.69	270.44 ± 20.08 *	
Estudio	Suplemento	Parámetros (unidades)	Grupos	Pretest	Posttest	p-valor
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto de arándanos 6 semanas	sTfR (ug/ml)	GC (n=7)	1.03 ± 0.09	1.16 ± 0.11	p > 0.05
			GI (n=9)	1.20 ± 0.23	0.1 ± 0.32	p > 0.05
		Ferritina (ng/dl)	GC (n=7)	107 ± 57	120 ± 17	p > 0.05
			GI (n=9)	106 ± 15	119 ± 54	p > 0.05
		Hepcidina (ng/dl)	GC (n=7)	0.12 ± 0.02	0.33 ± 0.11	<b>p &lt; 0.05</b>
			GI (n=9)	0.12 ± 0.01	0.15 ± 0.04	p > 0.05

Nota. Elaboración propia a partir de los datos extraídos de los estudios citados. Los valores se presentan como media ± desviación estándar (DE). Abreviaturas: T1: valores basales (pre-intervención); T2: valores finales (post-intervención); HMB: β-hidroxi-β-metilbutirato; GI: grupo intervención; GC: grupo control; CrMG: grupo creatina monohidrato; HMBG: grupo β-hidroxi-β-metilbutirato; CrM-HMBG: grupo combinado creatina y HMB; VD3G: grupo vitamina D3; T/C: ratio

testosterona/cortisol; sTfR: receptor soluble de transferrina. La interpretación de los resultados y p-valores presentados varía según el diseño y el análisis estadístico reportado en cada estudio original. Para esta tabla, se han extraído los hallazgos principales de la siguiente manera; 1. Para los estudios de Fernández-Landa et al. (2020) y Mielgo-Ayuso et al. (2018), el P (T× G) corresponde al análisis de la interacción grupo × tiempo obtenida por ANOVA de dos vías con medidas repetidas. Además, \* = p < 0,05: diferencia significativa entre T1 y T2 dentro del mismo grupo;.2. Para los estudios de Durkalec-Michalski & Jeszka, (2022) y Stejnborn et al. (2017) los p-valores mostrados reflejan la significancia del cambio dentro de cada grupo (T1 vs. T2 o Pre-test vs. Post-test)

**Tabla 24.** Resultados hematológicos y hormonales tras suplementación con HMB

Estudio	Suplemento y duración	Parámetro (unidades)	Grupo	T1	T2	p-valor
(Urbaniak et al., 2018)	HMB 8 semanas	Ferritina (ng/dl)	GI (n=10)	75.8 ± 34	76.5 ± 32	p > 0.05
			GC (n=9)	62.6 ± 25.1	75.8 ± 24.2	p > 0.05
		Hepcidina (ng/dl)	GI (n=10)	13.5 ± 3.2	11.2 ± 1.3	p > 0.05
			GC (n=9)	11 ± 4	11.3 ± 3.2	p > 0.05
		Fe (µg/dL)	GI (n=10)	108 ± 44.7	96.2 ± 28.8	p > 0.05
			GC (n=9)	82 ± 55.5	101.1 ± 51	p > 0.05
		sTfR (ug/ml)	GI (n=10)	1.1 ± 0.6	0.9 ± 0.1	p > 0.05
			GC (n=9)	1.3 ± 0.5	0.8 ± 0.1	p > 0.05

Nota. Elaboración propia a partir de los datos extraídos del estudio de Urbaniak et al. (2018). Los valores se presentan como media ± DE. Abreviaturas: T1; valores tras el test (24h) ante de la suplementación, T2; valores tras el test (24h) y tras el periodo de suplementación; HMB: β-hidroxi-β-metilbutirato; GI: grupo intervención; GC: grupo control; sTfR: receptor soluble de transferrina.

**Tabla 25.** Resumen cualitativo de los efectos de la suplementación sobre marcadores hormonales y hematológicos

Estudio	Suplemento	Parámetro	Resultado principal
(Durkalec-Michalski & Jeszka, 2015)	HMB	Testosterona, cortisol, relación T/C	No encontró diferencias significativas en los niveles de testosterona, cortisol ni en el ratio T/C frente al placebo.
(Fernández-Landa et al., 2020)	HMB Cr HMB-Cr	Testosterona, cortisol, relación T/C	La combinación de HMB y creatina produjo un ↑ significativo de testosterona (p = 0,006) y mantuvo estable la relación T/C (p = 0,032), a diferencia de los grupos que tomaron los suplementos de forma aislada.
(Mielgo-Ayuso et al., 2018)	V.D	Testosterona, cortisol, relación T/C, hemoglobina, Hematocrito, Transferrina	No se observaron cambios significativos en los marcadores hormonales. La suplementación previno el descenso de hemoglobina y hematocrito observado en el control. ↑ significativo de transferrina en relación con el tiempo
(Stejnborn et al., 2017)	Extracto arándanos	Ferritina, sTfR, hepcidina	No se observó ningún efecto significativo sobre los marcadores del metabolismo del hierro.
(Urbaniak et al., 2018)	Extracto granada	hepcidina, concentración de hierro, ferritina sérica	No se observó ningún efecto significativo sobre los marcadores del metabolismo del hierro.

Nota. Elaboración propia

## 5. DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo analizar la evidencia científica actual sobre la eficacia de diversos suplementos para atenuar el desequilibrio homeostático inducido por el ejercicio extenuante en remeros de élite. Se incluyeron siete estudios que evaluaron seis suplementos diferentes, centrados en factores fisiológicos clave para la recuperación: estrés oxidativo, daño muscular, inflamación, equilibrio hormonal, perfil hematológico y metabolismo del hierro. Los suplementos analizados mostraron efectos heterogéneos y específicos. Los suplementos analizados mostraron efectos heterogéneos y específicos; intervenciones como los polifenoles y el GliSODin mostraron un impacto positivo en el equilibrio redox, mientras que la combinación de HMB y creatina influyó favorablemente en el perfil hormonal. Esto subraya la importancia de seleccionar los suplementos en función de objetivos concretos de recuperación.

En primer lugar, los suplementos ricos en polifenoles, como el zumo de granada y el extracto de arándano rojo, presentaron como principal efecto la mejora del estado antioxidante. Ambos estudios demostraron un aumento significativo de la TAC en plasma de los remeros (Skarpańska-Stejnborn et al., 2017; Urbaniak et al., 2018). Este efecto es coherente con la evidencia existente que atribuye la capacidad antioxidante de estos frutos a su alto contenido en polifenoles, en concreto a las proantocianidinas (El Kar et al., 2011). De hecho, estos hallazgos en atletas de élite se alinean con los observados en otras poblaciones, como individuos sanos (Naghizadeh-Baghi et al., 2015) y pacientes con síndrome metabólico (Basu et al., 2011). En relación con deportistas de resistencia, donde el ejercicio incrementa notablemente el estrés oxidativo, se han reportado efectos similares. Un estudio en corredores que suplementaron durante 21 días con zumo de granada Vitalgrana en preparación para una media maratón mostró un menor daño oxidativo, reflejado en niveles más bajos de malondialdehído y carbonilos en comparación con el grupo control (Fuster-Muñoz et al., 2016).

Sin embargo, el efecto de estos suplementos parece limitarse principalmente a la mejora del equilibrio redox. Al analizar su posible influencia sobre el daño muscular y la inflamación, ninguno de los dos estudios encontró resultados estadísticamente significativos en los marcadores analizados. Aunque se observó una tendencia a reducir la respuesta de TNF- $\alpha$  y mioglobina en el grupo suplementado con extracto de arándano, la evidencia no fue concluyente. Por su parte, el estudio de Stejnborn et al. (2017) solo detectó un aumento significativo de hepcidina postejercicio en el grupo placebo, sin diferencias relevantes en otros marcadores. Estos resultados pueden discrepar con el estudio de Manthou et al. (2017), quienes observaron mejoras hematológicas tras la suplementación con zumo de granada y sugirieron que podría ayudar a prevenir la degradación de glóbulos rojos. No obstante, esta diferencia puede explicarse por las características de las poblaciones estudiadas (deportistas recreativos frente a atletas de élite) y por la duración distinta de las intervenciones.

La capacidad antioxidante es de particular relevancia para los remeros de élite, una población caracterizada por un volumen y una frecuencia de entrenamiento excepcionalmente altos, a menudo

combinados con periodos de recuperación limitados (Tabla 10). Tal como establece la literatura, el ejercicio extenuante es un potente inductor de estrés fisiológico, y las condiciones de entrenamiento de los remeros los exponen de manera crónica a un aumento del estrés oxidativo (Alessio, 1993; Deaton & Marlin, 2003; Finaud et al., 2006).

En contraste con el mecanismo de los antioxidantes exógenos, la suplementación con GliSODin, un extracto rico en la enzima endógena superóxido dismutasa, no modificó la TAC ni en el primer estudio de Dudašova Petrovičova et al. (2022), ni en el segundo (Dudašova Petrovičova et al., 2023). Sin embargo, la TAC no es el único parámetro relevante para evaluar la atenuación del estrés oxidativo. En este segundo estudio también se analizaron el TOS y el OSI. El TOS hace referencia a la suma de sustancias oxidantes presentes en suero, como los peróxidos de hidrógeno y los peróxidos lipídicos, y se considera un indicador global del estado oxidante del organismo (Erel, 2004). Por su parte, el OSI refleja el equilibrio entre las moléculas prooxidantes y los antioxidantes presentes en el plasma. Ambos parámetros se redujeron significativamente en el grupo suplementado en comparación con el grupo que recibió placebo (Dudašova Petrovičova et al., 2023). Los autores señalaron que estos resultados podrían atribuirse a los efectos de la suplementación con GliSODin, la cual favorecería niveles más bajos de especies oxidativas reactivas.

En cuestión a los marcadores de daños muscular e inflamatorios el GliSODin destaca sobre los otros suplementos. La mejora en el equilibrio redox se tradujo en una menor respuesta fisiológica al estrés en los remeros, con niveles significativamente más bajos de CK e IL-6 en reposo y una respuesta atenuada de la IL-6 al ejercicio (Dudašova Petrovičova et al., 2022). Este efecto se observó en otros deportes de alta exigencia como en jugadores de fútbol universitario, precisamente encontraron niveles más bajo de CK en reposo (Arent et al., 2010).

Los efectos atribuidos al HMB sobre los marcadores hormonales parecen depender de su combinación con creatina. El estudio de Durkalec-Michalski y Jeszka (2015), que evaluó el HMB de forma aislada, y el de Fernández-Landa et al. (2020), que analizó tanto su uso individual como combinado, no encontraron cambios significativos en los marcadores hormonales cuando el suplemento se administró solo. Sin embargo, la combinación de HMB y creatina sí produjo un aumento significativo de la testosterona y una mejora en la relación testosterona/cortisol (T/C) en comparación con los grupos que recibieron los suplementos por separado y con el placebo. Según los autores, estos resultados podrían indicar una mejor adaptación y recuperación tras el entrenamiento cuando ambos suplementos se administran de manera conjunta. No obstante, este hallazgo contrasta con estudios previos de menor duración, como el de Crowe et al. (2003), cuya intervención fue de seis semanas frente a las diez semanas del estudio de Fernández-Landa et al. (2020). Podría ser necesario un mayor periodo de suplementación para llegar a presentar cambios significativos en los niveles de testosterona.

En cuanto a los marcadores de EIMD, como AST, LDH y CK, ninguno de los estudios revisados reportó efectos significativos, ni con suplementación aislada ni combinada. Estos resultados coinciden con en otras poblaciones de deportistas, como jugadores de rugby (Crowe et al., 2003).

Finalmente, la suplementación con vitamina D3 mostró beneficios sobre el sistema hematológico, aunque no produjo cambios significativos en los marcadores hormonales. La intervención previno el descenso de hemoglobina y hematocrito observado en el grupo control y aumentó significativamente la transferrina (Mielgo-Ayuso et al., 2018). Este hallazgo tiene una relevancia práctica, ya que el mantenimiento de un perfil hematológico óptimo es esencial para el rendimiento en deportes de resistencia, dado su impacto en el transporte y disponibilidad de oxígeno (Balaban et al., 1989). La transferrina, proteína clave en el transporte de hierro, es utilizada como marcador del estado del hierro (Dzedzej et al., 2016). En esta línea, un estudio en mujeres jóvenes con deficiencia de hierro observó una correlación positiva entre los niveles de vitamina D y de transferrina, lo que refuerza el vínculo entre esta vitamina y el metabolismo del hierro (Blanco-Rojo et al., 2013).

Por otro lado, los resultados hormonales no mostraron cambios estadísticamente significativos en testosterona, cortisol ni en la relación T/C, aunque los autores señalaron una tendencia no concluyente hacia una mayor reducción de cortisol en el grupo suplementado. Este hallazgo coincide con un estudio prospectivo en mujeres con esclerosis múltiple suplementadas durante 16 semanas con dosis más altas de vitamina D3 (4000 UI/día), donde tampoco se observaron diferencias significativas en estos marcadores, lo que sugiere que, incluso con dosis más elevadas y periodos más largos, la vitamina D3 podría no tener un efecto directo sobre el perfil hormonal relacionado con el estrés y la recuperación (Rolf et al., 2018).

A pesar de los hallazgos, es necesario tener en cuenta las limitaciones generales de los estudios incluidos. La limitación más recurrente fue el tamaño reducido de las muestras (n=7 a n=18 por grupo), una característica común en investigaciones con atletas de élite, pero que reduce la potencia estadística y la generalización de los resultados (Fernández-Landa et al., 2020; Mielgo-Ayuso et al., 2018). Otra limitación importante fue la duración de las intervenciones, que varió entre 6 y 12 semanas. Por ejemplo, Dudašova Petrovičova et al. (2023) señalaron el pequeño número de participantes y el corto período de suplementación, mientras que Fernández-Landa et al. (2020) discutieron la necesidad de periodos más prolongados para observar adaptaciones hormonales.

## **6. Limitaciones del estudio**

En cuanto a las limitaciones de esta revisión, en primer lugar, la notable heterogeneidad de los estudios incluidos, en cuanto al tipo de suplemento, dosis, duración de la intervención y marcadores evaluados, impidió realizar un metaanálisis cuantitativo, por lo que las conclusiones se presentan en términos cualitativos. En segundo lugar, el reducido número de ensayos clínicos (n=7) que cumplieron con los criterios de inclusión refleja, al igual que en revisiones previas, que se trata de un área bastante específica, lo que limita la generalización de los resultados y subraya la necesidad de interpretarlos con cautela. A pesar de estas limitaciones, esta revisión proporciona una breve síntesis actualizada y estructurada que identifica patrones claros en la evidencia disponible y establece una base sólida para futuras líneas de investigación.

## **7. Implicaciones del estudio con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)**

Aunque este TFM se centra en remeros de élite, podemos relacionarlo con algunos de los objetivos de desarrollo sostenible. En concreto, el objetivo tres y doce, de la salud y el consumo responsable.

### **7.1. ODS 3: Salud y Bienestar**

Este trabajo aporta información relevante para el ODS 3 al analizar intervenciones que buscan optimizar la recuperación fisiológica tras el ejercicio de alta intensidad.

La comprensión de cómo ciertos suplementos puede modular el daño muscular, el estrés oxidativo y el equilibrio hormonal es un conocimiento útil para diseñar estrategias que prevengan el sobreentrenamiento y las lesiones asociadas. A nivel práctico, esto puede informar protocolos de recuperación que ayuden a mantener la salud del deportista a largo plazo. De forma indirecta, la prevención del agotamiento físico también puede contribuir a proteger el bienestar mental del atleta.

### **7.2. ODS 12: Consumo Responsable**

Este trabajo también promueve un consumo más informado y crítico en el ámbito de los suplementos deportivos. En un mercado en el que las estrategias de marketing a menudo superan la evidencia científica, se pone de manifiesto que no existen soluciones universales y que la suplementación debe basarse en criterios individualizados y respaldados por la ciencia. Esto favorece una toma de decisiones más consciente, evitando inversiones innecesarias y posibles riesgos para la salud derivados del uso de productos poco efectivos o sin respaldo científico.

## **8. CONCLUSIONES**

Esta revisión sistemática se propuso analizar la eficacia de la suplementación en la recuperación fisiológica de remeros de élite. A continuación, se presentan las conclusiones en respuesta directa a los objetivos planteados, con base en la evidencia científica sintetizada.

En respuesta al primer objetivo secundario (evaluar el efecto sobre el equilibrio redox), se concluye que los suplementos antioxidantes son eficaces, aunque a través de mecanismos distintos. Los suplementos ricos en polifenoles (granada, arándano) actúan de forma exógena, incrementando directamente la capacidad antioxidante total del plasma. Por su parte, el antioxidante enzimático GliSODin modula las defensas endógenas, logrando una reducción más directa de los marcadores de daño oxidativo (TOS y OSI).

En relación con el segundo objetivo secundario (determinar la eficacia sobre el daño muscular y la inflamación), se concluye que las intervenciones que modulan la respuesta al estrés oxidativo, como GliSODin, son más prometedoras que los agentes puramente metabólicos. Este suplemento demostró

atenuar marcadores clave como CK e IL-6. En contraste, el HMB no mostró beneficios significativos en esta área.

Atendiendo al tercer objetivo secundario (analizar el impacto sobre el perfil hormonal y hematológico), se concluye que la suplementación puede optimizar ambos sistemas. La combinación sinérgica de HMB y creatina es eficaz para promover un entorno hormonal anabólico, evidenciado por un aumento de la testosterona y una mejora del ratio T/C. Paralelamente, la vitamina D resulta fundamental para el soporte hematológico, previniendo el descenso de hemoglobina y hematocrito, parámetros esenciales para el transporte de oxígeno y, por tanto, para el rendimiento sostenido y la recuperación.

En respuesta al objetivo principal, se concluye de forma global que no existe un suplemento universal para la recuperación en remeros. La evidencia demuestra que cada compuesto actúa sobre vías fisiológicas específicas. Por lo tanto, la estrategia de suplementación debe ser personalizada y dirigida, seleccionando el suplemento en función del marcador o sistema fisiológico que se desee modular.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Navarro, M., Baltazar-Martins, G., Brito de Souza, D., Muñoz-Guerra, J., del Mar Plata, M., & Del Coso, J. (2021). Gender Differences in Prevalence and Patterns of Dietary Supplement Use in Elite Athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 92(4), 659-668. <https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1764469>
- Alacid, F., Muyor, J. M., & López-Miñarro, P. Á. (2011). Perfil Antropométrico del Canoísta Joven de Aguas Tranquilas. *International Journal of Morphology*, 29(3), 835-840. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022011000300028>
- Alessio, H. M. (1993). Exercise-induced oxidative stress. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(2), 218-224.
- Arent, S. M., Pellegrino, J. K., Williams, C. A., Difabio, D. A., & Greenwood, J. C. (2010). Nutritional supplementation, performance, and oxidative stress in college soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1117-1124. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb70b8>
- Areta, J. L., Burke, L. M., Ross, M. L., Camera, D. M., West, D. W., Broad, E. M., Jeacocke, N. A., Moore, D. R., Stellingwerff, T., & Phillips, S. M. (2013). Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *The Journal of physiology*, 591(9), 2319-2331.
- Ascencio Peralta, C. (2017). *Fisiología de la nutrición* (2.<sup>a</sup> ed.). El Manual Moderno. <https://aprendeonlinea.manualmoderno.com/home/product-details/275495;seoMode=true>
- Åstrand, P.-O. (1986). *Physiological Bases of Exercise* (3rd ed.). Human Kinetics.
- Badenhorst, C. E., Dawson, B., Cox, G. R., Laarakkers, C. M., Swinkels, D. W., & Peeling, P. (2015). Acute dietary carbohydrate manipulation and the subsequent inflammatory and hepcidin responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 115(12), 2521-2530.
- Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2010, 905612. <https://doi.org/10.1155/2010/905612>
- Balaban, E. P., Cox, J. V., Snell, P., Vaughan, R. H., & Frenkel, E. P. (1989). The frequency of anemia and iron deficiency in the runner. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(6), 643-648. <https://doi.org/10.1249/00005768-198912000-00003>



- Balestrino, M. (2021). Role of Creatine in the Heart: Health and Disease. *Nutrients*, 13(4), 1215.  
<https://doi.org/10.3390/nu13041215>
- Balsom, P. D., Söderlund, K., & Ekblom, B. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 18(4), 268-280.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-199418040-00005>
- Baltazar-Martins, G., Brito de Souza, D., Aguilar-Navarro, M., Muñoz-Guerra, J., Plata, M. D. M., & Del Coso, J. (2019). Prevalence and patterns of dietary supplement use in elite Spanish athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0296-5>
- Barbany Cairó, J. R. (2006). *Fisiología del ejercicio físico y el entrenamiento*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=392444>
- Barcelos, R. P., Stefanello, S. T., Mauriz, J. L., Gonzalez-Gallego, J., & Soares, F. a. A. (2016). Creatine and the Liver: Metabolism and Possible Interactions. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 16(1), 12-18. <https://doi.org/10.2174/1389557515666150722102613>
- Basu, A., Betts, N. M., Ortiz, J., Simmons, B., Wu, M., & Lyons, T. J. (2011). Low-energy cranberry juice decreases lipid oxidation and increases plasma antioxidant capacity in women with metabolic syndrome. *Nutrition Research (New York, N.Y.)*, 31(3), 190-196.  
<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.02.003>
- Bemben, M. G., & Lamont, H. S. (2005). Creatine supplementation and exercise performance: Recent findings. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(2), 107-125. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535020-00002>
- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R. M., & Hütler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal of Applied Physiology*, 87(4-5), 388-392.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-002-0622-4>
- Blanco-Rojo, R., Pérez-Granados, A. M., Toxqui, L., Zazo, P., de la Piedra, C., & Vaquero, M. P. (2013). Relationship between vitamin D deficiency, bone remodelling and iron status in iron-deficient young women consuming an iron-fortified food. *European Journal of Nutrition*, 52(2), 695-703.  
<https://doi.org/10.1007/s00394-012-0375-8>

- Boegman, S., & Dziedzic, C. E. (2016). Nutrition and Supplements for Elite Open-Weight Rowing. *Current Sports Medicine Reports*, 15(4), 252. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000281>
- Bourdin, M., Lacour, J.-R., Imbert, C., & Messonnier, L. A. (2017). Factors of Rowing Ergometer Performance in High-Level Female Rowers. *International Journal of Sports Medicine*, 38, 1023-1028. <https://doi.org/10.1055/s-0043-118849>
- Brooks, G. A. (2009). Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *The Journal of Physiology*, 587(23), 5591-5600. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.178350>
- Brosnan, M. E., & Brosnan, J. T. (2016). The role of dietary creatine. *Amino Acids*, 48(8), 1785-1791. <https://doi.org/10.1007/s00726-016-2188-1>
- Brosnan, M. E., Edison, E. E., da Silva, R., & Brosnan, J. T. (2007). New insights into creatine function and synthesis. *Advances in Enzyme Regulation*, 47, 252-260. <https://doi.org/10.1016/j.advenzreg.2006.12.005>
- Buratti, P., Gammella, E., Rybinska, I., Cairo, G., & Recalcatti, S. (2015). Recent advances in iron metabolism: Relevance for health, exercise, and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1596-1604.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., & Jeukendrup, A. E. (2013). Carbohydrates for training and competition. *Food, Nutrition and Sports Performance III*, 17-27.
- Carr, A. J., Gore, C. J., & Dawson, B. (2011). Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(5), 357-364.
- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: Formación, funcion y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100.
- Cermak, N. M., & van Loon, L. J. C. (2013). The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(11), 1139-1155. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0>
- Chicharro, J. L., & Mojares, L. M. L. (2008). *Fisiología clínica del ejercicio*. Ed. Médica Panamericana.
- Close, G. L., Hamilton, D. L., Philp, A., Burke, L. M., & Morton, J. P. (2016). New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free radical biology and medicine*, 98, 144-158.

- Costill, D. L., Pascoe, D. D., Fink, W. J., Robergs, R. A., Barr, S. I., & Pearson, D. (1990). Impaired muscle glycogen resynthesis after eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 69(1), 46-50. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.1.46>
- Crowe, M. J., O'Connor, D. M., & Lukins, J. E. (2003). *The Effects of  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -Methylbutyrate (HMB) and HMB/Creatine Supplementation on Indices of Health in Highly Trained Athletes*. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.13.2.184>
- da Silva, R. P., Nissim, I., Brosnan, M. E., & Brosnan, J. T. (2009). Creatine synthesis: Hepatic metabolism of guanidinoacetate and creatine in the rat in vitro and in vivo. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 296(2), E256-261. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90547.2008>
- D'Ailly, P. N., Sluiter, J. K., & Kuijer, P. P. (2016). Rib stress fractures among rowers: A systematic review on return to sports, risk factors and prevention. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(6), 744-753.
- DAS, A., MANDAL, M., SYAMAL, A. K., & MAJUMDAR, P. (2019). Monitoring Changes of Cardio-Respiratory Parameters During 2000m Rowing Performance. *International Journal of Exercise Science*, 12(2), 483-490. <https://doi.org/10.70252/YJSX4918>
- Deaton, C. M., & Marlin, D. J. (2003). Exercise-associated oxidative stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 2(3), 278-291.
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2011). Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: A study of female collegiate rowers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(6), 501-506.
- Diry, A., Ratel, S., Nevill, A., & Maciejewski, H. (2022). What is the physiological impact of reducing the 2,000 m Olympic distance in rowing to 1,500 m and 1,000 m for French young competitive rowers? Insights from the energy system contribution. *Frontiers in Physiology*, 13, 896975. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.896975>
- Domínguez, R., López-Domínguez, R., López-Samanes, Á., Gené, P., González-Jurado, J. A., & Sánchez-Oliver, A. J. (2020). Analysis of sport supplement consumption and body composition in spanish elite rowers. *Nutrients*, 12(12), 1-12. Scopus. <https://doi.org/10.3390/nu12123871>
- Dudašova Petrovičova, O., Stanković, I., Đorđević, B., Dopsaj, V., Milinković, N., & Dopsaj, M. (2023). How Supplementation with SOD-Rich Plant Extract, Combined with Gliadin, Can Affect Oxidative Stress

- Markers and Zonulin Levels in Exercise-Induced Oxidative Stress. *Metabolites* (2218-1989), 13(12), 1200. Complementary Index.
- Dudašova Petrovičova, O., Stanković, I., Milinković, N., Dopsaj, V., Đorđević, B., & Dopsaj, M. (2022). Effects of 6-Week Supplementation with GliSODin on Parameters of Muscle Damages, Metabolic, and Work Performance at International Level Rowers after Specific Maximal Effort. *Biology*, 11(10). Scopus®. <https://doi.org/10.3390/biology11101437>
- Durkalec-Michalski, K., & Jeszka, J. (2015). The efficacy of a beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on physical capacity, body composition and biochemical markers in elite rowers: A randomised, double-blind, placebo-controlled crossover study. *JOURNAL OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SPORTS NUTRITION*, 12, 31. edswsc. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0092-9>
- Dzedzej, A., Ignatiuk, W., Jaworska, J., Grzywacz, T., Lipińska, P., Antosiewicz, J., Korek, A., & Ziemann, E. (2016). The effect of the competitive season in professional basketball on inflammation and iron metabolism. *Biology of sport*, 33(3), 223-229.
- El Kar, C., Ferchichi, A., Attia, F., & Bouajila, J. (2011). Pomegranate (*Punica granatum*) juices: Chemical composition, micronutrient cations, and antioxidant capacity. *Journal of Food Science*, 76(6), C795-800. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02211.x>
- Erel, O. (2004). A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clinical Biochemistry*, 37(4), 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2003.11.015>
- Fazio, C., Elder, C. L., & Harris, M. M. (2022). Efficacy of Alternative Forms of Creatine Supplementation on Improving Performance and Body Composition in Healthy Subjects: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(9), 2663-2670. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003873>
- Fernández-Landa, J., Fernández-Lázaro, D., Calleja-González, J., Caballero-García, A., Córdova, A., León-Guereño, P., & Mielgo-Ayuso, J. (2020). Long-Term Effect of Combination of Creatine Monohydrate Plus  $\beta$ -Hydroxy  $\beta$ -Methylbutyrate (HMB) on Exercise-Induced Muscle Damage and Anabolic/Catabolic Hormones in Elite Male Endurance Athletes. *Biomolecules* (2218-273X), 10(1), 1-15. Complementary Index.

- Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006). Oxidative Stress. *Sports Medicine*, 36(4), 327-358.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00004>
- Fiskerstrand, A., & Seiler, K. S. (2004). Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 303-310. <https://doi.org/10.1046/j.1600-0838.2003.370.x>
- Fuster-Muñoz, E., Roche, E., Funes, L., Martínez-Peinado, P., Sempere Ortells, J. M., & Vicente Salar, N. (2016). *Effects of pomegranate juice in circulating parameters, cytokines, and oxidative stress markers in endurance-based athletes: A randomized controlled trial*.  
<http://hdl.handle.net/10045/54050>
- Garthe, I., & Maughan, R. J. (2018). *Athletes and Supplements: Prevalence and Perspectives*.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0429>
- Gavala González, J. (2021a). *El remo. La historia del remo. Parte 1/7—TV US*.  
[https://tv.us.es/media/EL%20REMO.%20LA%20HISTORIA%20DEL%20REMO.%20PARTE%201\\_7/1\\_c505rfzg/232328203](https://tv.us.es/media/EL%20REMO.%20LA%20HISTORIA%20DEL%20REMO.%20PARTE%201_7/1_c505rfzg/232328203)
- Gavala González, J. (2021b). *El remo. Las modalidades del remo: Banco movil. Parte 4/7—TV US*.  
[https://tv.us.es/media/EL%20REMO.%20LAS%20MODALIDADES%20DEL%20REMO%3A%20BANCO%20M%C3%93VIL.%20PARTE%204\\_7/1\\_dl6kl5f6/232328203](https://tv.us.es/media/EL%20REMO.%20LAS%20MODALIDADES%20DEL%20REMO%3A%20BANCO%20M%C3%93VIL.%20PARTE%204_7/1_dl6kl5f6/232328203)
- Gollnick, P. D., & Matoba, H. (1984). Role of carbohydrate in exercise. *Clinics in Sports Medicine*, 3(3), 583-593.
- Greenhaff, P. L., Nevill, M. E., Soderlund, K., Bodin, K., Boobis, L. H., Williams, C., & Hultman, E. (1994). The metabolic responses of human type I and II muscle fibres during maximal treadmill sprinting. *The Journal of Physiology*, 478 ( Pt 1)(Pt 1), 149-155. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1994.sp020238>
- Greenhaff, P. L., & Timmons, J. A. (1998). Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 26, 1-30.
- Gutiérrez-Hellín, J., Del Coso, J., Franco-Andrés, A., Gamonales, J. M., Espada, M. C., González-García, J., López-Moreno, M., & Varillas-Delgado, D. (2024). Creatine Supplementation Beyond Athletics: Benefits of Different Types of Creatine for Women, Vegans, and Clinical Populations—A Narrative Review. *Nutrients*, 17(1), 95. <https://doi.org/10.3390/nu17010095>

- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2016). Essentials of Strength Training and Conditioning, 4th Edition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(10), 2073. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001081>
- Hagerman, F. C., Connors, M. C., Gault, J. A., Hagerman, G. R., & Polinski, W. J. (1978). Energy expenditure during simulated rowing. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 45(1), 87-93. <https://doi.org/10.1152/jappl.1978.45.1.87>
- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2(9), 817-828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
- Harris, R. C., Edwards, R. H., Hultman, E., Nordesjö, L. O., Nylinde, B., & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, 367(2), 137-142. <https://doi.org/10.1007/BF00585149>
- He, C.-S., Handzlik, M. K., Fraser, W. D., Muhamad, A. S., Preston, H., Richardson, A., & Gleeson, M. (2013). Influence of vitamin D status on respiratory infection incidence and immune function during 4 months of winter training in endurance sport athletes.
- Held, S., Rappelt, L., & Donath, L. (2023). Acute and Chronic Performance Enhancement in Rowing: A Network Meta-analytical Approach on the Effects of Nutrition and Training. *Sports Medicine*, 53(6), 1137-1159. CINAHL with Full Text. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01827-y>
- Hobson, R. M., Harris, R. C., Martin, D., Smith, P., Macklin, B., Gualano, B., & Sale, C. (2013). Effect of beta-alanine with and without sodium bicarbonate on 2,000-m rowing performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23(5), 480-487.
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56(4), 831-838. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.4.831>
- Hood, D. A., & Terjung, R. L. (1990). Amino acid metabolism during exercise and following endurance training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 9(1), 23-35. <https://doi.org/10.2165/00007256-199009010-00003>
- Hultman, E., Sjöholm, H., Sahlin, K., & Edström, L. (1981). Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle. *Ciba Foundation Symposium*, 82, 19-40.

- Ingham, S. A., Whyte, G. P., Jones, K., & Nevill, A. M. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 243-246. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0699-9>
- Izquierdo-Gabarren, M., Expósito, R. G. de T., de Villarreal, E. S. S., & Izquierdo, M. (2010). Physiological factors to predict on traditional rowing performance. *European Journal of Applied Physiology*, 108(1), 83-92. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1186-3>
- Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 20(7-8), 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.04.017>
- Jones, N. L., & McCartney, N. (1986). Influence of muscle power on aerobic performance and the effects of training. *Acta Medica Scandinavica. Supplementum*, 711, 115-122. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1986.tb08939.x>
- Jones, N. L., McCartney, N., Graham, T., Spriet, L. L., Kowalchuk, J. M., Heigenhauser, G. J., & Sutton, J. R. (1985). Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 59(1), 132-136. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.1.132>
- José, B. P., Coral, C. B., Carmen, G. C., & Carlos, I. R. (2014). *Alimentación y nutrición en la vida activa: Ejercicio físico y deporte*. Editorial UNED.
- Katch, M. (2015). *Fundamentos de fisiología del ejercicio*. [https://www.academia.edu/27823632/McArdle\\_Katch\\_Katch\\_Fundamentos\\_de\\_fisiolog%C3%ADa\\_del\\_ejercicio](https://www.academia.edu/27823632/McArdle_Katch_Katch_Fundamentos_de_fisiolog%C3%ADa_del_ejercicio)
- Kenneth S, S. (2022). *Anatomía y Fisiología. La Unidad entre Forma y Función—9 Edición—Libros de Medicina*. <https://www.soymedicina.com/libros-de-medicina/anatomia-y-fisiologia-la-unidad-entre-forma-y-funcion-9-edicion/>
- Kerr, D. A., Ross, W. D., Norton, K., Hume, P., Kagawa, M., & Ackland, T. R. (2007). Olympic lightweight and open-class rowers possess distinctive physical and proportionality characteristics. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 43-53. <https://doi.org/10.1080/02640410600812179>
- Kleshnev, V. (2011). *The Biomechanics of Rowing*.

- Knuiman, P., Hopman, M. T. E., & Mensink, M. (2015). Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutrition & Metabolism*, 12, 59. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0055-9>
- López Chicharro, J., Vicente Campos, D., Cancino López, J., López Chicharro, J., Vicente Campos, D., & Cancino López, J. (2013). Fisiología del entrenamiento aeróbico: Una visión integrada. En *Fisiología del entrenamiento aeróbico: Una visión integrada*. Editorial Médica Panamericana. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5ea0259ea56eaf3199480441>
- Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO2max: Looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220(2), 218-228. <https://doi.org/10.1111/apha.12827>
- Maciejewski, H., Bourdin, M., Lacour, J.-R., Denis, C., Moyon, B., & Messonnier, L. (2013). Lactate accumulation in response to supramaximal exercise in rowers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(5), 585-592. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01423.x>
- Manthou, E., Georgakouli, K., Deli, C. K., Sotiropoulos, A., Fatouros, I. G., Kouretas, D., Haroutounian, S., Matthaiou, C., Koutedakis, Y., & Jamurtas, A. Z. (2017). Effect of pomegranate juice consumption on biochemical parameters and complete blood count. *Experimental and therapeutic medicine*, 14(2), 1756-1762.
- Margaritelis, N. V., Cobley, J. N., Paschalis, V., Veskoukis, A. S., Theodorou, A. A., Kyparos, A., & Nikolaidis, M. G. (2016). Going retro: Oxidative stress biomarkers in modern redox biology. *Free Radical Biology & Medicine*, 98, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.02.005>
- Martin, S. A., & Tomescu, V. (2017). Energy systems efficiency influences the results of 2,000 m race simulation among elite rowers. *Clujul Medical (1957)*, 90(1), 60-65. <https://doi.org/10.15386/cjmed-675>
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Fisiología Del Ejercicio: Nutrición, Rendimiento Y Salud*. Lippincott Williams & Wilkins.
- McDonnell, L. K., Hume, P. A., & Nolte, V. (2011). Rib stress fractures among rowers: Definition, epidemiology, mechanisms, risk factors and effectiveness of injury prevention strategies. *Sports medicine*, 41(11), 883-901.
- Mielgo-Ayuso, J., Córdova, A., Calleja-González, J., Urdampilleta, A., León-Guereño, P., Caballero-García, A., & Fernandez-Lázaro, D. (2018). Effects of vitamin D supplementation on haematological values



- and muscle recovery in elite male traditional rowers. *Nutrients*, 10(12). Scopus®.  
<https://doi.org/10.3390/nu10121968>
- Mikulic, P., & Bralic, N. (2018). Elite status maintained: A 12-year physiological and performance follow-up of two Olympic champion rowers. *Journal of Sports Sciences*, 36(6), 660-665.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1329548>
- Morton, R. W., McGlory, C., & Phillips, S. M. (2015). Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Frontiers in physiology*, 6, 245.
- Naghizadeh-Baghi, A., Mazani, M., Shadman-Fard, A., & Nemati, A. (2015). Punica granatum juice effects on oxidative stress in severe physical activity. *Materia Socio-Medica*, 27(1), 48-51.  
<https://doi.org/10.5455/msm.2014.27.48-51>
- Nielsen, H. B. (1999). pH after competitive rowing: The lower physiological range? *Acta Physiologica Scandinavica*, 165(1), 113-114. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.1999.00485.x>
- Owens, D. J., Fraser, W. D., & Close, G. L. (2015). Vitamin D and the athlete: Emerging insights. *European Journal of Sport Science*, 15(1), 73-84. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.944223>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 89.  
<https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Philp, A., Macdonald, A. L., Carter, H., Watt, P. W., & Pringle, J. S. (2008). Maximal Lactate Steady State as a Training Stimulus. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 475-479.  
<https://doi.org/10.1055/s-2007-965320>
- Physiotherapy Evidence Database. (2025). *Escala PEDro*. PEDro.  
<https://pedro.org.au/spanish/resources/pedro-scale/>
- Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., & Bangsbo, J. (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H<sup>+</sup> transport capacity in human skeletal muscle. *The American Journal of Physiology*, 276(2), E255-261.  
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.276.2.E255>

- Poma, D. (2023). *Fisiología de los sistemas energéticos durante el ejercicio*. ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/370760603\\_FISIOLOGIA\\_DE\\_LOS\\_SISTEMAS\\_ENERG  
ETICOS\\_DURANTE\\_EL\\_EJERCICIO](https://www.researchgate.net/publication/370760603_FISIOLOGIA_DE_LOS_SISTEMAS_ENERG_ETICOS_DURANTE_EL_EJERCICIO)
- Pripstein, L. P., Rhodes, E. C., McKenzie, D. C., & Coutts, K. D. (1999). Aerobic and anaerobic energy during a 2-km race simulation in female rowers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(6), 491-494. <https://doi.org/10.1007/s004210050542>
- Pyne, D. B., West, N. P., Cox, A. J., & Cripps, A. W. (2015). Probiotics supplementation for athletes—clinical and physiological effects. *European journal of sport science*, 15(1), 63-72.
- Raysmith, B. P., & Drew, M. K. (2016). Performance success or failure is influenced by weeks lost to injury and illness in elite Australian track and field athletes: A 5-year prospective study. *Journal of science and medicine in sport*, 19(10), 778-783.
- Reinke, S., Taylor, W. R., Duda, G. N., von Haehling, S., Reinke, P., Volk, H.-D., Anker, S. D., & Doehner, W. (2012). Absolute and functional iron deficiency in professional athletes during training and recovery. *International journal of cardiology*, 156(2), 186-191.
- Ribas, J. (2010). Lactato: De indeseable a valioso metabolito. El papel de la producción de lactato en la regulación de la excitabilidad durante altas demandas de potencia en las fibras musculares. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 27(137), 211-230.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), R502-516. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
- Rolf, L., Damoiseaux, J., Huitinga, I., Kimenai, D., van den Ouweland, J., Hupperts, R., & Smolders, J. (2018). Stress-Axis Regulation by Vitamin D3 in Multiple Sclerosis. *Frontiers in Neurology*, 9, 263. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00263>
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *The American Journal of Physiology*, 265(3 Pt 1), E380-391. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>

- Ross, S. A., Domínguez, S., Nigam, N., & Wakeling, J. M. (2021). The Energy of Muscle Contraction. III. Kinetic Energy During Cyclic Contractions. *Frontiers in Physiology*, 12, 628819. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.628819>
- Roth, W. (1983). Untersuchungen zur Dynamik der Energiebereitstellung waehrend maximaler Mittelzeitausdauerbelastung. *Medizin und Sport*, 23(4), S. 107-114.
- Schünemann, F., Park, S.-Y., Wawer, C., Theis, C., Yang, W.-H., & Gehlert, S. (2023). Diagnostics of vLa.max and Glycolytic Energy Contribution Indicate Individual Characteristics of Anaerobic Glycolytic Energy Metabolism Contributing to Rowing Performance. *Metabolites*, 13(3), 317. <https://doi.org/10.3390/metabo13030317>
- Secher, N. H. (1993). Physiological and biomechanical aspects of rowing. Implications for training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 15(1), 24-42. <https://doi.org/10.2165/00007256-199315010-00004>
- Skarpańska-Stejnborn, A., Basta, P., Trzeciak, J., & Szcześniak-Pilaczyńska, Ł. (2015). Effect of intense physical exercise on hepcidin levels and selected parameters of iron metabolism in rowing athletes. *European journal of applied physiology*, 115(2), 345-351.
- Slater, G., & Phillips, S. M. (2013). Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. En *Food, Nutrition and Sports Performance III* (pp. 67-77). Routledge.
- Slavin, J., & Carlson, J. (2014). Carbohydrates1. *Advances in Nutrition*, 5(6), 760-761. <https://doi.org/10.3945/an.114.006163>
- Sousa, M., Fernandes, M. J., Moreira, P., & Teixeira, V. H. (2013). Nutritional Supplements Usage by Portuguese Athletes. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 83(1), 48-58. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000144>
- Steinacker, J. M. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 14 Suppl 1, S3-10.
- Stejnborn, A. S.-, Basta, P., Trzeciak, J., Michalska, A., Kafkas, M. E., & Ślubowska, D. W.-. (2017). Effects of cranberry (*Vaccinum macrocarpon*) supplementation on iron status and inflammatory markers in rowers. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1). Directory of Open Access Journals. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0165-z>

- Tauda, M. E., Cruzat Bravo, E., Castro Núñez, H., & Ergas Schleef, D. (2025). Conceptos de capacidad y potencia anaeróbica actualización de la terminología. Revisión sistemática. *Retos*, 62, 513-528.
- Thompson, P. (2015). *Sculling: Training, Technique and Performance*. Crowood.
- Tittel, K., & Wutscherk, H. (1992). Anatomical and anthropometric fundamentals of endurance. *Endurance in sport*, 2, 35-45.
- Tr, A., Kb, O., Da, K., & B, R. (2003). Morphological characteristics of Olympic sprint canoe and kayak paddlers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(3). [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(03\)80022-1](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(03)80022-1)
- Treff, G., Schmidt, W., Wachsmuth, N., Völzke, C., & Steinacker, J. M. (2013). Total Haemoglobin Mass, Maximal and Submaximal Power in Elite Rowers. *International Journal of Sports Medicine*, 35, 571-574. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1358476>
- Treff, G., Winkert, K., & Steinacker, J. (2021). Olympic Rowing – Maximum Capacity over 2000 Meters. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin/German Journal of Sports Medicine*, 72(4), 203-211. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2021.485>
- Tsarouhas, K., Kioukia–Fougia, N., Papalexis, P., Tsatsakis, A., Kouretas, D., Bacopoulou, F., & Tsitsimpikou, C. (2018). Use of nutritional supplements contaminated with banned doping substances by recreational adolescent athletes in Athens, Greece. *Food and Chemical Toxicology*, 115, 447-450. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.043>
- Urbaniak, A., Basta, P., Ast, K., Wołoszyn, A., Wołoszyn, J. K. –, Latour, E., & Stejnborn, A. S. –. (2018). The impact of supplementation with pomegranate fruit (*Punica granatum* L.) juice on selected antioxidant parameters and markers of iron metabolism in rowers. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1). Directory of Open Access Journals. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0241-z>
- van Loon, L. J., Greenhaff, P. L., Constantin-Teodosiu, D., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *The Journal of Physiology*, 536(Pt 1), 295-304. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00295.x>
- van Loon, L. J., Saris, W. H., Kruijshoop, M., & Wagenmakers, A. J. (2000). Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: Carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein

- hydrolysate mixtures<sup>123</sup>. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(1), 106-111.  
<https://doi.org/10.1093/ajcn/72.1.106>
- Volianitis, S., Yoshiga, C. C., & Secher, N. H. (2020). The physiology of rowing with perspective on training and health. *European Journal of Applied Physiology*, 120(9), 1943-1963.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-020-04429-y>
- Walter, G., Vandenborne, K., McCully, K. K., & Leigh, J. S. (1997). Noninvasive measurement of phosphocreatine recovery kinetics in single human muscles. *The American Journal of Physiology*, 272(2 Pt 1), C525-534. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1997.272.2.C525>
- Wardenaar, F. C., Ceelen, I. J. M., Dijk, J.-W. V., Hangelbroek, R. W. J., Roy, L. V., Pouw, B. V. der, Vries, J. H. M. D., Mensink, M., & Witkamp, R. F. (2017). *Nutritional Supplement Use by Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Does Receiving Dietary Counseling Make a Difference?*  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0157>
- Whyte, G. P. (2006). *The physiology of training*. Elsevier/Churchill Livingstone.  
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000795692409088>
- Wiens, K., Erdman, K. A., Stadnyk, M., & Parnell, J. A. (2014). *Dietary Supplement Usage, Motivation, and Education in Young Canadian Athletes*. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0087>
- Wilkinson, S. B., Phillips, S. M., Atherton, P. J., Patel, R., Yarasheski, K. E., Tarnopolsky, M. A., & Rennie, M. J. (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *The journal of physiology*, 586(15), 3701-3717.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1998). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Paidotribo.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=190897>
- Winkert, K., Steinacker, J. M., Koehler, K., & Treff, G. (2022). High Energetic Demand of Elite Rowing—Implications for Training and Nutrition. *Frontiers in Physiology*, 13, 829757.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.829757>
- Winkert, K., Steinacker, J. M., Machus, K., Dreyhaupt, J., & Treff, G. (2019). Anthropometric profiles are associated with long-term career attainment in elite junior rowers: A retrospective analysis covering 23 years. *European Journal of Sport Science*, 19(2), 208-216.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1497089>

Zhong, Y., Weldon, A., Casado, A., González-Mohino, F., Ravé, J. M. G., Cao, Y., Zheng, H., Yin, M., Xu, K., & Li, Y. (2025). *Training-Intensity Distribution, Volume, Periodization, and Performance in Elite Rowers: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2024-0433>

## 10. ANEXOS

### Anexo I. Escala PEDro

Correspondencia de los ítem:

1. Los criterios de elección fueron especificados
2. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron asignados aleatoriamente al orden en que recibieron los tratamientos)
3. La asignación fue oculta
4. Los grupos eran similares al inicio respecto a los indicadores pronósticos más importantes
5. Todos los sujetos fueron sesgados
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron sesgados
7. Hubo enmascaramiento de todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave
8. Se obtuvieron medidas de al menos un resultado clave en más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos
9. Todos los sujetos para quienes había disponibles medidas de resultado recibieron el tratamiento o la condición de control asignada o, cuando esto no fue así, los datos de al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”
10. Se informaron los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos para al menos un resultado clave
11. El estudio proporciona tanto medidas puntuales como medidas de variabilidad para al menos un resultado clave

(Physiotherapy Evidence Database, 2025)