



Carla Gallardo Puertas

Ayudas nutricionales ergogénicas en el deporte de fondo. Una revisión narrativa.

Ergogenic aids in endurance sport. A narrative review.

Trabajo de Fin de Grado, Junio 2023

Tutores: Raquel Blasco Redondo, Javier Nistal Rodriguez

Facultad de Medicina. Grado de Medicina.

RESUMEN

Introducción: Se observa que una óptima recuperación post-entrenamiento, en los deportistas de resistencia, es un aspecto fundamental para lograr un buen estado de salud, rendimiento y de prevención de lesiones. Para ello, a veces es insuficiente con una buena alimentación e hidratación y la mayoría de los deportistas acaban buscando una ayuda adicional en los suplementos dietéticos.

Justificación: Es pertinente que tanto el entrenador y atleta como el equipo médico, estén bien informados sobre qué suplementos pueden convertirse realmente en una ayuda y cuales en algo irrelevante o incluso perjudicial. Por ello, este artículo pretende presentar unas respuestas científicas, basadas en estudios de investigación realizados por expertos, que muestran la efectividad (u objeción) de las ayudas ergogénicas conocidas por aumentar el rendimiento en el deporte.

Métodos: Se realiza una revisión bibliográfica centrada en los efectos de 5 suplementos nutricionales, considerados como ayudas ergogénicas de nivel A, que son: creatina, β -alanina, cafeína, bicarbonato y nitratos. Mediante una búsqueda estructurada en la base de datos *PubMed* y *Google académico*, y se lleva a cabo siguiendo las pautas de la declaración "PRISMA" 2020. Un total de 27 artículos cumplen con los filtros y criterios de inclusión y se incluyen para la revisión.

Resultados: En una visión general del deporte, el uso de ayudas ergogénicas en la forma y medida adecuadas provoca una clara mejoría del rendimiento mediante una disminución de la fatiga, la optimización de la recuperación y prevención de lesiones. Asimismo, se confirma un resultado seguro y legal de la toma de estas ayudas en la práctica y competencia, y se presenta una variabilidad tanto personal como entre los distintos eventos deportivos.

Conclusiones: El consumo de suplementos deportivos debe ser planificado y controlado por expertos en la materia, para garantizar la seguridad y salud de nuestros atletas y evitar efectos no deseables. Se reclaman más investigaciones y evaluaciones individuales en atletas según las distintas especialidades y teniendo en cuenta las distintas variables (sexo, edad, masa muscular, etc.).

Palabras clave: Suplemento deportivo, ayuda ergogénica, atletas, resistencia, élite, creatina, β -alanina bicarbonato, nitrato, cafeína.

ABSTRACT

Introduction: It is observed that an optimal post-training recovery in endurance athletes is a fundamental aspect to achieve a good state of health, performance and injury prevention. For this, it is sometimes insufficient with good nutrition and hydration, and most athletes end up looking for additional help in dietary supplements.

Justification: It is pertinent that both the coach and athlete and the medical team are well informed about which supplements can really become an aid and which in something irrelevant or even harmful (including doping substances). Therefore, this article aims to present scientific answers based on research studies, which show the effectiveness (or objection) of ergogenic aids that manage to increase performance in sport.

Methods: A literature review focused on the effects of 5 nutritional supplements, considered as ergogenic aids of level A, which are: creatine, β -alanine, caffeine, bicarbonate and nitrates. Through a structured search in the PubMed database and Google scholar, and is carried out following the guidelines of the declaration "PRISMA" 2020. A total of 27 articles meet the filters and inclusion criteria are included for review.

Results: In an overview of sport, the use of ergogenic aids in the right form and measure causes a clear improvement in performance through a decrease in fatigue, optimization of recovery and prevention of injuries. Likewise, a safe and legal result of the taking of these aids in practice and competition is confirmed, and there is a variability both personal and between the different sporting events.

Conclusions: The consumption of sports supplements should be planned and controlled by experts in the field, to ensure the safety and health of our athletes and avoid undesirable effects. More research and individual evaluations in athletes are demanded according to the different specialties and taking into account the different variables (sex, age, muscle mass, etc.).

Keywords: Sports supplement, ergogenic aid, athletes, endurance, elite, creatine, β -alanine bicarbonate, nitrate, caffeine.

INDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Definición suplemento y ayuda ergogénica	5
1.2 Grado de evidencia científica	6
1.3 Vías energéticas	7
1.4 Justificación	7
1.5 Objetivo principal	8
1.6 Objetivos específicos	8
2. METODOLOGÍA	8
2.1 Estrategia de búsqueda y palabras clave	8
2.2 Proceso de selección de datos	9
3. RESULTADOS	9
3.1 Resultados de búsqueda	9
4. DISCUSIÓN	11
4.1 Eficacia de las intervenciones	10
4.2 Creatina	11
4.3 B-alanina	14
4.4 Cafeína	16
4.5 Bicarbonato de sodio	18
4.6 Nitratos /jugo de remolacha	21
5 CONCLUSIONES	23
6 BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXOS	31

1. Introducción

El deporte de fondo se está abriendo camino entre la población e incorporándose en el día a día de muchos, incluso llegando a convertirse en un estilo de vida para aquellos que lo practican de forma habitual, como hobby o a un alto nivel. Hablamos de deporte de resistencia, cuando la práctica consiste en completar una distancia determinada o una cantidad de trabajo en el menor tiempo posible (contrarreloj) o una cantidad máxima de trabajo en una cantidad de tiempo fija, con predominio de un metabolismo energético dependiente de procesos oxidativos. (1)

El entrenamiento a un alto nivel sugiere un desafío diario para los deportistas. Esta exigencia, tanto física como mental, a la que se someten diariamente, conlleva una alta sobrecarga de sus sistemas fisiológicos y metabólicos, de la cual deben recuperarse rápidamente para poder preparar la siguiente sesión. Además, las competiciones de resistencia requieren que se centren en diferentes factores como la distancia de la competición, el perfil de las pruebas, o los diferentes aspectos relacionados con el entorno (por ejemplo, temperatura, humedad y altitud). Los atletas que no están bien preparados tienen un mayor riesgo de lesiones y enfermedades. (2)

La fatiga se define como cualquier reducción en la capacidad de producir fuerza o potencia en un músculo o grupo de músculos inducida por el ejercicio. Aunque su etiología precisa sigue siendo controvertida, la acumulación de H^+ y la reducción concomitante del pH sarcoplásmico se consideran las principales causas de la fatiga causada por el entrenamiento. (3) La disminución de la fatiga se resume en una menor incidencia de lesiones/problemas relacionados con los músculos, como calambres, distensiones/tirones, enfermedades por calor y lesiones totales. (4) En investigaciones recientes se ha observado que una óptima recuperación post-entrenamiento, en los deportistas de resistencia, es un aspecto fundamental para lograr un buen estado de salud, rendimiento y de prevención de lesiones. (4)(5)

Además del tipo de alimento, es importante consumir las cantidades adecuadas de energía, nutrientes y agua, con la regularidad correcta y con la adaptación apropiada a los horarios de los entrenamientos y de las competiciones. Hay veces en las que todas estas recomendaciones no son suficientes y el deportista recurre a la toma de suplementos en un intento de mejorar su rendimiento deportivo. (6) En este contexto surgen los suplementos nutricionales deportivos (SS).

1.1. Definición suplemento deportivo y ayuda ergogénica

Según la última actualización del COI, se denomina suplemento dietético a un alimento, componente alimentario, nutriente o compuesto no alimentario que se ingiere deliberadamente además de la dieta consumida habitualmente con el objetivo de lograr un beneficio específico para la salud y/o el rendimiento. (6)(7)(8) Generalmente, el deportista busca en este un efecto "ergogénico", es decir, una ayuda para mejorar el rendimiento físico. (9)

Una ayuda ergogénica (AE) es cualquier técnica de entrenamiento, dispositivo mecánico, ingrediente o práctica nutricional, método farmacológico o técnica psicológica que puede mejorar la capacidad de rendimiento del ejercicio o mejorar las adaptaciones al entrenamiento. Las ayudas ergogénicas pueden ayudar a preparar a un individuo para hacer ejercicio, mejorar la eficiencia del ejercicio, la recuperación o ayudar en la prevención de lesiones durante el entrenamiento intenso. (9)(10)(11)

Según la literatura, el 45 % de los deportistas recreativos y los atletas de élite admiten que usan SS. (8) Uno de los principales problemas, recae en que muchas ayudas, lejos de ser positivas para los deportistas, pueden ser inefectivas y hasta perjudiciales, al ser administradas sin control por personas sin formación y sin conocimientos médicos (incluidas, también, las sustancias farmacológicas consideradas “doping”). (6)(12)(13) Unos de los puntos claves de la práctica de la suplementación para los deportistas son la educación y la minuciosa elección de los complementos alimenticios. (9)(13)

1.2. Grado de evidencia científica

No todos los conocimientos derivados de los artículos científicos publicados tienen el mismo impacto o valor sobre la toma de decisiones en relación con la salud. El nivel o grado de evidencia clínica es un sistema jerarquizado, basado en las pruebas o estudios de investigación, que ayuda a los profesionales de la salud a valorar la fortaleza o solidez de la evidencia asociada a los resultados obtenidos de una estrategia terapéutica.

El Instituto Australiano del Deporte (AIS) ha proporcionado un sistema de clasificación denominado “ABCD”, que clasifica en cuatro grupos a los suplementos y alimentos deportivos según la evidencia científica que tenga hasta el momento (está en continua actualización), además de otros factores para conocer si es seguro, permitido y efectivo para la mejora del rendimiento: (14)

- Grado A (fuerte evidencia científica para su uso en situaciones específicas del deporte usando protocolos basados en evidencia): datos procedentes de numerosos ensayos clínicos aleatorizados, metaanálisis o revisiones sistemáticas. (14)
- Grado B (apoyo emergente, que merece más investigación considerado por el uso de atletas bajo un protocolo de investigación o situación de monitoreo manejado por caso): datos procedentes de un único ensayo clínico aleatorizado o de grandes estudios no aleatorizados (estudios de cohortes). (14)
- Grado C (no existe evidencia científica o muy poca de efectos beneficiosos): no respalda el beneficio entre los atletas o no se realizó ninguna investigación para guiar una opinión informada. (14)
- Grado D (sustancias prohibidas o con alto riesgo de contaminación): no deben de ser usadas por los atletas. Presentan alto riesgo de producir un test de dopaje positivo. Lo evalúa e indica la Agencia Mundial Antidopaje (WADA). (14)

1.3. Vías energéticas

En cuanto a la actividad mecánica que el ejercicio conlleva, el suministro de energía es un requisito previo importante para poder mantenerlo, en el que las grasas, los carbohidratos (glucosa) y las proteínas se convierten en trifosfato de adenosina (ATP) para proporcionar energía al cuerpo. La producción de esta energía se lleva a cabo por 2 vías diferentes: el sistema aeróbico y anaeróbico. Dentro de los sistemas anaeróbicos, están el anaeróbico aláctico o ATP-PC y el láctico o sistema de glucólisis anaeróbica; ambos producen energía sin la necesidad de oxígeno. Los metabolitos que emplea el sistema ATP-CP son ATP y fosfato de creatina (CP o fosfocreatina [PCr]). El sustrato energético del sistema glucolítico es la glucosa, que sintetiza ATP al descomponer la glucosa. (15)

El sistema aeróbico requiere de la respiración intracelular para sustraer la energía, y se denomina sistema oxidativo. Las mitocondrias de las células son los órganos que producen ATP, mediante la oxidación de glucosa, grasas y proteínas, y al mismo tiempo, los sistemas cardiovascular y respiratorio necesitan transportar grandes cantidades de oxígeno a los músculos para sus necesidades. (15)(16)

La proporción del suministro de energía anaeróbica y aeróbica está determinada por la intensidad del ejercicio. El sistema ATP-CP proporciona principalmente energía para ejercicios de alta intensidad a corto plazo (es decir, carreras de velocidad, lanzamientos, saltos y levantamiento de pesas); el sistema glucolítico proporciona energía principalmente para el ejercicio de intensidad media-alta y de corta duración (es decir, 400 m de carrera y 100 m de natación); y el sistema oxidativo funciona principalmente para el ejercicio de intensidad baja-media y de duración media-larga, (carrera de fondo, remo y ciclismo). La capacidad de suministro de energía de los diferentes sistemas de energía determina la fuerza de la capacidad de ejercicio. (15)

1.4. Justificación:

La nutrición deportiva está siempre en constante evolución, cada año se publican miles de artículos científicos, que respaldan la seguridad y efectividad del uso ciertos suplementos para deportistas. Esta excesiva información, publicada en múltiples fuentes que están muy al alcance de nuestras manos, como lo son las RR. SS, revistas, artículos, estudios, etc; provoca, en muchas ocasiones, un uso indiscriminado de estos. Por ello, es pertinente que tanto el entrenador y atleta como el equipo médico, estén bien informados sobre qué suplementos pueden convertirse realmente en una ayuda y cuales en algo irrelevante o incluso perjudicial (incluidas en ellas las sustancias dopantes).

Una apropiada estrategia nutricional, optimizada mediante la adicción de suplementos deportivos, acorde a las características del atleta y de los eventos en los que participa, ayudará

a mantener un estado de salud óptimo y disminuir las lesiones, permitiendo a su vez que el atleta implemente su rendimiento y finalice las competencias de una forma exitosa. Asimismo, es importante que este plan nutricional esté bajo el estudio y seguimiento de su equipo médico.

Este artículo, pretende presentar unas respuestas científicas en base a estudios de investigación bien controlados, que muestran la efectividad (u objeción) de las ayudas ergogénicas que consiguen aumentar el rendimiento en el deporte.

1.5. Objetivo principal

- Detectar un efecto ergogénico a través de la suplementación con los cinco suplementos nutricionales, con nivel de evidencia fuerte (clase A según el AIS), que son: cafeína, creatina, nitrato/jugo de remolacha, β -alanina y bicarbonato. El uso de dichos complementos tiene que ser seguro, legal y efectivo para el sujeto que decida hacer uso de ellos.

1.6. Objetivos específicos

- Analizar las estrategias, mecanismos de acción, y efectos adversos en los deportes de larga distancia.
- Establecer pautas sobre las dosis y el modo de uso de suplementos dietéticos.
- Desmentir algunas de las creencias más populares que han sido divulgadas a lo largo de los años y posteriormente reinstauradas en la actualidad.

2. Metodología

2.1. Estrategia de búsqueda y palabras clave

El trabajo comprende una revisión bibliográfica centrada en los efectos de 5 suplementos nutricionales, considerados como ayudas ergogénicas de nivel A, aplicados en el deporte de alto nivel e incidiendo en la práctica de fondo.

Para encontrar el mayor número de artículos disponibles relacionados, se realiza una búsqueda estructurada en la base de datos *PubMed* y *Google académico*. Se lleva a cabo siguiendo las pautas de la declaración "PRISMA" 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses). (17) Los términos de búsqueda incluyeron una combinación de encabezados de temas médicos (MeSH) y palabras de texto libre para conceptos clave relacionados con estas ayudas ergogénicas y el rendimiento de carrera de resistencia,

Palabras clave: “Suplemento deportivo” (sports supplement), “ayuda ergogénica” (ergogenic aid), “atletas” (athletes), “resistencia” (endurance), “élite” (elite), “creatina” (creatine), “b-alanina” (b-alanine), “bicarbonato” (bicarbonate), “nitrato” (nitrate), “cafeína” (caffeine).

2.2. Proceso de selección de datos

Los artículos seleccionados para la revisión de la literatura cumplen con los siguientes criterios de inclusión:

- Tipo de estudio: revisiones sistemáticas y metaanálisis, estudio de cohortes, estudios de casos o ensayos clínicos.
- Estudios en humanos relacionados con resultados metabólicos y fisiológicos que ocurren en atletas de resistencia y ultrarresistencia durante los entrenamientos y competencias.
- Artículos publicados desde 2018 a 2023, excepto por los que su gran interés científico y relevancia en la historia de la nutrición y medicina deportiva trascienden hasta día de hoy.
- Publicado en inglés o español.
- Publicaciones con acceso gratuito a texto completo.

Se excluyen aquellos:

- Suplemento mezclado con otros suplementos, ya que pueden interferir en los resultados.
- Estudios en deportistas no experimentados, lesionados o con patologías que afecten a su salud y por consiguiente al rendimiento.

3. Resultados

3.1. Resultados de búsqueda

Un total de 320 artículos son identificados inicialmente a través de *PubMed* y *Google académico*. De los 283 que quedan después de la eliminación de los 37 duplicados, 189 no se consideran relevantes y son excluidos. Según criterios de inclusión, 27 artículos publicados entre 2018 y 2023, cumplen con el conjunto de criterios y se incluyen para la revisión.

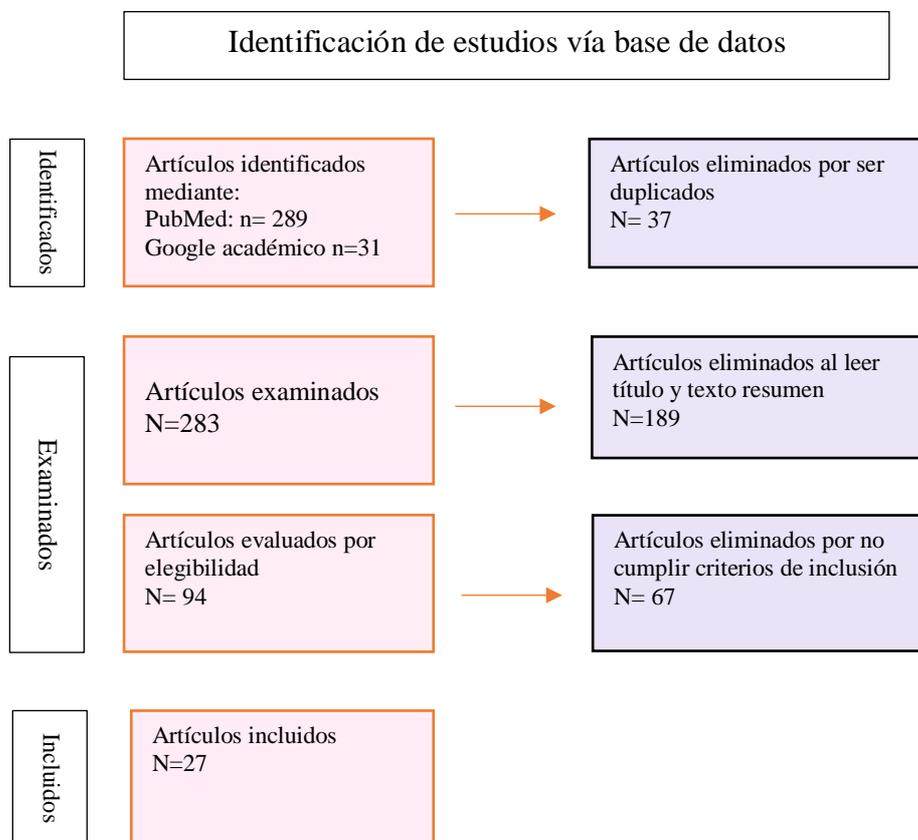


Figura 1: Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica según la declaración PRISMA 2022.

4. Discusión

4.1. Eficacia de las intervenciones

A pesar del enorme apogeo científico que reciben los suplementos deportivos en el campo de la medicina y nutrición deportiva, aún siguen faltando numerosos estudios aplicados en atletas de élite. Para recabar más datos sobre nuestra materia de estudio y suplir esta falta, nos apoyamos en artículos que se ambientan en otros tipos de ejercicio, donde también predomina el metabolismo aeróbico (actividades de intensidad baja-media mantenidas en el tiempo): como el ciclismo de élite y el Trail.

La gran mayoría de las publicaciones incluidas en esta revisión, coinciden en la prevalencia de un efecto ergogénico en la toma de estos suplementos frente al placebo. En una visión general del deporte, el uso de AE en la forma y medida adecuadas, provoca una clara mejoría del rendimiento en cuanto a una disminución de la fatiga, la optimización de la recuperación y prevención de lesiones. (1)(6)(8)(14)

Los suplementos de nitratos tienen un papel principal en el aumento de rendimiento en deportes donde predomina el ejercicio aeróbico, disminuyendo la cinética de consumo de O₂ y el gasto de ATP durante el ejercicio de resistencia. (5) Respecto a los 4 suplementos restantes, no es tanto el resultado beneficioso en disciplinas en las que, el sistema oxidativo juega un papel mayoritario, ya que, algunos de los mecanismos principales por los que las AE resultan en una mejora del rendimiento son: el aumento de las reservas de sustrato de las vías anaeróbicas, para disminuir el tiempo hasta la fatiga; así como, el reciclaje de iones de hidrógeno (H⁺), para atenuar la acidosis láctica. (11)

Del mismo modo, la cafeína, creatina y nitratos han demostrado un aumento de la potencia y fuerza, lo que puede ser beneficioso en distancias desde medio fondo a velocidad. La toma de cafeína también manifiesta efectos en el SNC, mediante los cuales puede resultar en una disminución de la fatiga central. (10)

Se presenta como un desafío para los científicos, establecer los límites de las disciplinas atléticas entre las que se puede encontrar este efecto ergogénico y en las que se deja de aplicar. Véase Anexo 1. (1)

Asimismo, los expertos confirman un resultado seguro y legal de la toma de estos suplementos deportivos, en la práctica y competencia. También, establecen unos posibles efectos secundarios y variaciones interindividuales, por lo que recomienda que los deportistas, hagan prueba de ellos en un entorno seguro, como la práctica deportiva durante el entrenamiento y bajo supervisión de su equipo deportivo. (1)(8)

4.2. Creatina

4.2.1. Definición

La creatina (Cr), denominada también α metil guandino-acético, es un compuesto orgánico nitrogenado que pertenece al grupo de las aminas no esenciales. Es sintetizada a partir de aminoácidos esenciales (arginina, metionina) y no esenciales (glicina), mediante la cooperación de varios órganos, incluidos el hígado, el páncreas y los riñones. (18) La síntesis de creatina proporciona aproximadamente la mitad de la necesidad diaria de creatina, el resto de la creatina necesaria para mantener los niveles tisulares normales se obtiene en la dieta; principalmente de la carne roja y el pescado, que contienen alrededor de 5 gramos de Cr/kg. (19)

La creatina es, actualmente, uno de los suplementos dietéticos deportivos más populares y con más recorrido científico del mercado, con más de \$400 millones en ventas anuales. (20) Sus

resultados beneficiosos sobre la salud son bien conocidos, y su perfil de seguridad es uno de los más establecidos en la actualidad. (18)

Hay 8 tipos diferentes de creatina, que difieren en su concentración, biodisponibilidad y tiempo de absorción, y son: creatina monohidrato (CrM), creatina clorhidrato o HCl, gluconato de creatina, creatina kre-alkalina, creatina malato, creatina etil éster y citrato de creatina.

Actualmente, la Cr más popular, la que más se comercializa, y también la más económica es en forma de “monohidrato de creatina”, se encuentra como polvo cristalino insípido y se disuelve fácilmente en líquidos. Es la opción de creatina más comúnmente estudiada y podría decirse que también la más biodisponible y efectiva. (21) Los científicos cuando hablan de la creatina como suplemento, generalizan y hacen referencia al monohidrato de creatina; del mismo modo, todos los estudios que citamos en este artículo han tomado CrM como material de estudio.

4.2.2. Farmacocinética

La creatina se combina con fosfato originando fosfocreatina (PCr), que se encuentra en el músculo. La fosfocreatina es de gran importancia en el metabolismo energético de nuestro cuerpo, ya que interviene en la contracción del músculo esquelético y la recuperación de este tras un esfuerzo físico; para ello, a través de la reacción reversible catalizada por la *creatina quinasa*, la PCr se combina con el difosfato de adenosina (ADP) para resintetizar ATP. (8)(19)(22)(23) Este reciclaje de Cr también sirve como amortiguador metabólico endógeno, que ayuda a mantener el pH, y ambos mecanismos aumentan la disponibilidad de energía durante el ejercicio.

La mayor parte de la creatina (95%) se almacena en el músculo esquelético (mayormente en las fibras de contracción rápida), (19) sirviendo de sustrato energético (dos tercios en forma fosforilada y un tercio en forma libre). (22) El cuerpo descompone alrededor del 1-2% de la reserva de creatina intramuscular en creatinina, que se excreta en la orina.

4.2.3. Mecanismo de acción

La creatina se encarga de una serie de procesos relacionados con la recuperación: incluida la síntesis de proteínas, la estabilización de la membrana muscular, la regulación de la homeostasis del calcio, el almacenamiento de glucosa, la actividad antioxidante y la modulación de cascada inflamatoria postejercicio, llevando a cabo, por tanto, un papel mioprotector. (8)(22)(23)(24)(25)(26) Asimismo, es una gran amortiguadora intracelular, puesto que, atenúa la acidosis intramiocitaria que ocurre en el músculo durante el ejercicio, utilizando los iones de hidrógeno para producir ATP. (8)(23)(27)

En cuanto a los ejercicios de resistencia aeróbica, el sustrato limitante principal es el glucógeno; algunos estudios muestran que la suplementación con creatina no tiene un efecto apreciable sobre el $\dot{V}O_{2max}$, y que el efecto ergogénico de la Cr disminuye según aumenta la distancia de carrera. (24) En cambio, otros han informado mejoras pequeñas pero significativas en otras variables de rendimiento de resistencia, como la concentración de lactato en sangre a una carga de trabajo determinada y el umbral ventilatorio/lactato después de la suplementación con creatina. (23) Este resultado positivo en el ejercicio aeróbico (aún de evidencia científica de segundo grado) se demuestra gracias a que la creatina ayuda a mantener las reservas del glucógeno muscular durante el ejercicio (disminuyendo así el intervalo hasta la fatiga) y a la recuperación posterior, debido a su papel anti catabolizante. (19)(22)(24)(26)

La suplementación con CrM parece ser una ayuda valiosa en cuanto a la ganancia de masa magra, potencia y fuerza, sin embargo, su efecto ergogénico, dependiendo el evento y la distancia puede no ser igual de significativo. Por esta razón, cada caso debe ser estudiado por separado por el grupo de expertos del deportista, e individualizado según su fisiología, prueba deportiva y objetivo dependiendo el momento de la temporada.

4.2.4. Protocolos de uso y tiempos de utilización

En una dieta normal que contiene 1-2 g/día de creatina, las reservas musculares de creatina están saturadas en un 60-80%. Por lo tanto, la suplementación dietética de creatina sirve para aumentar la creatina muscular y la PCr en un 20-40%. (19)

Si lo que buscamos es aumentar la masa magra, la potencia y la fuerza, es decir, un resultado anabolizante, podemos realizar primeramente una fase de carga (también llamado protocolo de carga rápida), que consistirá en la toma de unos 20 g/día (divididos en 4 dosis diarias iguales) durante 5 a 7 días. A continuación, le procederá una fase de mantenimiento: 3 a 5 g/día (dosis única) durante la duración del período de suplementación. (22)(23)(27) Si nuestro fin es disminuir el catabolismo muscular, posiblemente con dosis menores, incluso las adquiridas mediante la dieta habitual pueden ser suficiente para mantener abastecidos los depósitos musculares, sin necesidad de recurrir a la creatina como suplemento.

En cuanto al momento de la ingesta, se observan beneficios potencialmente mayores para la acumulación muscular de la creatina si esta se toma después del ejercicio. (23) En los entrenamientos de resistencia con gran componente aeróbico, la toma de creatina posterior al ejercicio busca rellenar los depósitos de ATP cuando estos se vacíos después del ejercicio. Algunos estudios también sugieren, que la toma de creatina junto con CHO y/o proteínas (~50g), aumenta los depósitos de glucógeno muscular a las 24 horas del ejercicio, debido al incremento de la secreción de insulina estimulado por la glucosa. (19)(23)(24)

4.2.5. Perfil de seguridad y efectos secundarios

Numerosos estudios coinciden en que la creatina es un suplemento fuertemente seguro y legal, en el que no se han observado efectos negativos para la salud con el uso a largo plazo cuando se siguen los protocolos de carga adecuados. (19) Además, sus efectos beneficiosos van más allá del rendimiento deportivo; se proponen otros posibles efectos antiinflamatorios en la población general, (22)(28) e incluso es una terapia actual en la asfixia neonatal. (29)

Por último, este suplemento puede aumentar unos 1-2kg de peso, debido a la retención de agua intracelular, (20) lo cual puede ser contraproducente en pruebas de larga distancia, penalizando la eficiencia de la carrera por un incremento de la masa corporal.

4.3. β -alanina

4.3.1. Definición

La carnosina (β -alanil- L-histidina) es un fuerte antioxidante y amortiguador del pH, y es comúnmente conocido por sus resultados beneficiosos en el rendimiento deportivo. (30) Parece lógico intentar implementar la cantidad de carnosina intramuscular a través de la alimentación y/o con ayuda de suplementos dietéticos, en busca de un efecto ergogénico; pero la realidad es que, la cantidad que introducimos de forma exógena es degradada en su totalidad por enzimas intracelulares y no tiene capacidad para alcanzar el tejido diana.

La carnosina consta de β -alanina (BA) y L-histidina. Aunque la histidina sí que es un aminoácido esencial en los seres humanos, se encuentra en cantidad suficiente en el cuerpo, mientras que la β -alanina no. La β -alanina parece limitar la velocidad de formación de carnosina; (30)(31) este aminoácido no tiene efectos ergogénicos limitados por sí mismo, y numerosos estudios afirman que los resultados beneficiosos asociados, están en relación con el aumento del contenido de carnosina. (32)(33)(34)(35)(36)(37) La β -alanina también está presente en productos cárnicos y pesqueros; sin embargo, depender de la ingesta de este aminoácido de la dieta puede no ser suficiente o eficiente, ya que se necesitaría consumir 200 g de pollo para aumentar la biodisponibilidad plasmática de la concentración de BA en la misma medida que un suplemento de 800 mg. (30)(35) Por ello, la evidencia señala que suplementación exógena con β -alanina puede ser una estrategia efectiva para aumentar las concentraciones de carnosina muscular. (30)(31)(38)

4.3.2. Farmacocinética

La producción endógena de BA se produce principalmente a través de la degradación hepática de uracilo, y da como resultado sólo pequeñas cantidades de síntesis de carnosina (3-6%) en el músculo. (31) Cuando se ingiere a través de la dieta, la β -alanina se transporta rápidamente a través del tracto gastrointestinal y alcanza una concentración plasmática máxima entre los 30 y 45 minutos posteriores, y a continuación viaja hasta los tejidos diana. El transporte de β -alanina al tejido muscular en humanos requiere más evidencia; sin embargo, algunos estudios apuntan al transportador de taurina (TauT) como su principal transportador. (31)(38)

El contenido intramuscular de carnosina es de aproximadamente 20 mmol·kg⁻¹ de músculo seco. No obstante, este contenido intramuscular puede variar según algunos factores, como los diferentes tipos de fibras: las fibras tipo II (rápidas) tienen aproximadamente un 120 % más de contenido de carnosina en comparación con las fibras tipo I (lentas). (38)

4.3.3. Mecanismo de acción

Casi todos los deportistas, en estos estudios independientes, mostraron aumentos en la carnosina muscular después de un período de suplementación con BA a dosis óptimas (mínimo 4g/d) y durante un intervalo mínimo de 4 semanas. (30)(31)(37)(38)(40) Sobre todo, la β -alanina ha sido reportada como una ayuda ergogénica relevante en cuanto a ejercicios de alta intensidad, especialmente cuando se produce una gran acumulación de iones de hidrógeno (H⁺) (ejercicio anaeróbico). (31)(34)

La principal función de la carnosina recae en su capacidad amortiguadora (buffer). (31)(38) La regulación del pH produce una atenuación de la acidosis inducida por el ejercicio, prolongando por tanto, el intervalo de tiempo hasta la fatiga y la duración del ejercicio de alta intensidad. (35) La carnosina parece ser efectiva cuando se trabaja a un esfuerzo máximo de carga y, mediante un aumento del volumen de entrenamiento. Del mismo modo, la carnosina promueve la sensibilidad de las fibras musculares al calcio (Ca⁺⁺) mejorando la excitación-contracción. (38) Esto puede resultar en una reducción del tiempo de relajación muscular y en un aumento de la producción de potencia, (36)(37) lo que resulta especialmente beneficioso para series repetidas de ejercicio (34) de duración de 1 a 4 minutos. (37) La carnosina también es conocida como un fuerte antioxidante, (38) no obstante, esta capacidad es atribuida a niveles elevados de carnosina en los tejidos, se ha demostrado principalmente en modelos animales, y la evidencia que respalda su función en los seres humanos aún se desconoce en gran medida. (34)

4.3.4. Protocolos de uso y tiempos de utilización

El último consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte, (23) el Instituto Australiano de Deporte y otros estudios paralelos, (38) coinciden en que, la dosis de 4-6 g/día

durante al menos 2-4 semanas provocaría un aumento significativo de carnosina del 20-30% al 40-60%, y tras 10 semanas un incremento aproximado del 80%. El momento óptimo para la ingesta de β -alanina aún no se conoce bien. Con referencia a estudios previos, la BA se ha tomado después de cada comida (mañana, almuerzo y cena). (23)

4.3.5. Perfil de seguridad y efectos secundarios

La parestesia o enrojecimiento, es el efecto secundario más comúnmente informado con el uso de β -alanina, que normalmente ocurre cuando se consume una dosis en bolo de 800 mg o más. (31) En este sentido, los regímenes típicos de suplementación con β -alanina implican dividir la dosis diaria total (más comúnmente de 6 a 7 g) en dosis más pequeñas (comúnmente de 1,4 a 1,6 g por dosis), para mitigar estos posibles efectos desagradables. (34) Finalmente, se informan grandes variaciones interindividuales en la síntesis de carnosina muscular con la toma de β -alanina y, por lo tanto, debe considerarse un enfoque individualizado de la suplementación.

4.4. Cafeína

4.4.1. Definición

La cafeína o 1,3,7-trimetilxantina es un alcaloide natural, antagonista del receptor de adenosina. (39) La cafeína, se trata de un polvo blanco inodoro que es soluble tanto en agua como en lípidos y tiene un sabor amargo. Esta es la sustancia psicoactiva más consumida en el mundo, la encontramos naturalmente en diversas especies de plantas; incluidos el café, el té y el cacao, también en otros alimentos procesados; como las bebidas energéticas, y en preparados farmacológicos. (23) La cafeína, a parte de ser conocida y tener un alto consumo a nivel social, también forma parte de los suplementos nutricionales más utilizados por los deportistas. Actualmente, el 90% de los atletas de resistencia recreativos y profesionales, admiten tomar cafeína habitualmente, con el fin de mejorar su rendimiento. (40)

Desde la eliminación de la cafeína de la lista de sustancias prohibidas por la Agencia Mundial Antidopaje en 2004, los atletas pueden hacer uso de la cafeína de cualquier forma y cantidad, sin la preocupación de poder ser sancionados por traspasar de la dosis límite establecida. (41) Hoy en día, la cafeína es una droga socialmente aceptada y sus propiedades para mejorar el rendimiento han sido respaldadas recientemente por organizaciones deportivas internacionales como el Comité Olímpico Internacional, (8) el Instituto Australiano del Deporte, (42) o la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva. (43)

4.4.2. Farmacocinética

La cafeína es metabolizada en el hígado, mediante la enzima citocromo P450 1A2 (CYP1A2). Investigaciones recientes han sugerido, que los efectos ergogénicos de la cafeína

están influenciados por la variante del gen CYP1A2 del atleta, (44) lo que explica la conocida variabilidad en las respuestas individuales de la cafeína. La vida media promedio ($t_{1/2}$) de la cafeína varía entre individuos e incluso puede oscilar entre 1,5 y 10 h en adultos. La tasa de metabolismo de la cafeína puede verse inhibida o disminuida por diferentes factores y circunstancias, (43) como durante el uso de anticonceptivos hormonales, el embarazo, tabaquismo, factores dietéticos, etc. (45)

La habituación a la cafeína parece tener un impacto limitado en los efectos del rendimiento de este estimulante. Exclusivamente, se ve reducido el tiempo de vida medio ($t_{1/2}$); por ello, los consumidores necesitarán tomar más dosis de cafeína en el mismo intervalo de tiempo, para conseguir el mismo efecto. Los estudios han demostrado que los usuarios diarios habituales de cafeína tienden a encontrar beneficios de rendimiento similares a los de aquellos con ingestas bajas y moderadas, y que, además, no necesitan realizar una "abstinencia de cafeína" durante los días previos al uso de la competencia para lograr una mejora del rendimiento. (40)(43)

4.4.3. Mecanismo de acción

Existen numerosos ensayos clínicos aleatorizados, metaanálisis o revisiones sistemáticas que demuestran que la cafeína es eficaz para mejorar el rendimiento del ejercicio: se han informado mejoras pequeñas pero significativas para el ejercicio aeróbico de larga duración, (39)(40)(46)(47) la mejora de la fuerza, (43) la resistencia muscular (45) y la potencia. (41)

La cafeína parece emplear sus efectos en varios lugares del cuerpo, pero la evidencia más sólida sugiere que el objetivo principal es el SNC y, actualmente, es reconocido como el principal mecanismo por el cual la cafeína altera el rendimiento mental y físico. (32)(39)(46)(47) Se cree que este efecto resulta del antagonismo de los receptores de adenosina, un neuromodulador que actúa a nivel de la corteza y prosencéfalo cerebral. Por ello, se la atribuyen una serie de propiedades relacionadas con la regulación del cansancio, el ciclo sueño-vigilia y la regulación negativa homeostática y neuroprotectora de la actividad cerebral. (44) La ingesta de cafeína anterior al ejercicio provoca una disminución del potencial cortical, relacionado con el motor, y de los índices de esfuerzo percibido (RPE), en parte resultante de la liberación de neurotransmisores, como β -endorfinas. (40)

La cafeína también es ampliamente conocida como ionóforo de Ca^{2+} y/o activador de AMPK, justificando el mecanismo por el que, se propone un aumento de la oxidación de ácidos grasos o glucosa y de la biosíntesis mitocondrial mediante la toma de cafeína. (43)(46)(47)

En las carreras de atletismo, un pequeño aumento en el rendimiento de resistencia puede generar diferencias significativas en las competiciones, ya que los atletas a menudo están separados por pequeños márgenes. Por lo tanto, hay apoyo para que los atletas élite de

atletismo, especializados en sprints más largos, la distancia media y los eventos de resistencia/ultraresistencia consideren el uso de cafeína en las competencias.

4.4.4. Protocolos de uso y tiempos de utilización

La literatura sobre la suplementación con cafeína muestra una fuerte evidencia de un mejor rendimiento cuando se consume antes de eventos que varían en duración de 30 a 90 minutos. (41)(43) Las dosis moderadas de cafeína (~ 3–9 mg/kg) pueden aumentar el rendimiento de resistencia (39)(40)(43)(44)(48) De manera similar, cuando se consideran tareas supramáximas a corto plazo, la ingesta de 3-9 mg/kg de BM de cafeína tomada 50-60 min antes del ejercicio se relaciona con ganancias de rendimiento de >3% para actividades anaeróbicas de 1-2 min de duración. (23) Dosis más altas de cafeína (≥ 9 mg/kg BM) no parecen aumentar el efecto sobre el rendimiento y es más probable que aumenten el riesgo de efectos secundarios negativos, como náuseas, ansiedad, insomnio, e inquietud. (40)(45) También se ha demostrado que las dosis bajas de cafeína (<3 mg/kg BM, ~200 mg), consumidas durante el ejercicio de resistencia (después de 15 a 80 minutos de actividad) mejoran el rendimiento de resistencia en un rango de 3 a 7 %, (39) aumentando la utilización de grasas como combustible en detrimento del uso de carbohidratos. En concreto, en atletismo se han observado mejoras del 1,5% en el tiempo empleado para finalizar un 1.500 m, o mejoras de un 1-2% en pruebas de 8 km. (32)

4.4.5. Perfil de seguridad y efectos secundarios

Algunos de los efectos secundarios más comúnmente informados son taquicardia y palpitaciones cardíacas, dolores de cabeza, así como insomnio y alteración de la calidad del sueño en el inicio del sueño y una reducción en la duración del sueño la noche de la competición y un aumento de la producción de orina y problemas gastrointestinales. (43) La ingesta de cafeína también se asocia con un aumento de la ansiedad; un efecto a tenerse muy en cuenta en su ingestión, antes de las competencias, en atletas. (39)(40)(41)(45) Tales efectos parecen aumentar linealmente con la dosis ingerida. (40)(45) Por lo tanto, pueden minimizarse, aunque probablemente no eliminarse por completo, mediante el uso de dosis más pequeñas, ya que dichas dosis también son ergogénicas y producen muchos menos efectos secundarios. (44)

4.5. Bicarbonato de sodio

4.5.1. Definición

El bicarbonato de sodio (SB) se usa como ayuda ergogénica y como ingrediente en medicamentos recetados y de venta libre. Muchos estudios han explorado los efectos del bicarbonato de sodio en el rendimiento en varios modos de ejercicio, incluidas las tareas de

deportes de combate, el ejercicio de resistencia y el ciclismo, la carrera, la natación y el remo de alta intensidad únicos y repetidos. (49)

Actualmente, se ha comprobado una posible mejora a las adaptaciones al entrenamiento mediante la suplementación con bicarbonato. Teniendo en cuenta que la diferencia entre el 1.º y el 12.º lugar en la carrera olímpica masculina de 1500 m en atletismo (2016) fue de solo 1,73 s (0,75 % del tiempo total), y el bicarbonato de sodio puede mejorar el rendimiento de carrera de alta intensidad en atletas entrenados al 2–3%, investigar los protocolos óptimos de ingestión de SB y su variabilidad interindividual y según especialidades deportivas, puede ser de gran importancia. (50)

4.5.2. Farmacocinética

El bicarbonato de sodio es altamente soluble en agua, disociándose rápidamente en sus iones constituyentes, como, sodio (Na^+) y bicarbonato (HCO_3^-), al entrar en contacto con soluciones acuosas, incluido el ácido del estómago, como se describe en la siguiente reacción: (49)



Parte del HCO_3^- ingerido se elimina mediante la formación de dióxido de carbono (CO_2) en el ácido del estómago. Dado que el CO_2 es un gas, se libera del jugo gástrico al formarse y luego se expulsa. (49)

4.5.3. Mecanismo de acción

El aumento en la capacidad amortiguadora extracelular es un mecanismo ampliamente aceptado para el efecto ergogénico del bicarbonato de sodio. Cuando el ejercicio de alta intensidad comienza sin ninguna previa suplementación, el H^+ generado se va acumulando en el músculo y el flujo de salida de este al torrente sanguíneo se va cohibiendo según continúa el ejercicio, provocando la acidosis muscular. Sin embargo, si el mismo ejercicio se realiza después de la tarea de suplementación de SB, observamos un aumento del bicarbonato circulante en sangre, el cual aumenta el gradiente de pH entre músculo y sangre. Esto resulta en un mayor movimiento de H^+ fuera del músculo y, en consecuencia, un mejor mantenimiento del medio de pH intramuscular, lo que permite atenuar el efecto perjudicial que produce la acumulación de H^+ intramuscular (49)(50)(51); observándose un mayor tiempo hasta la fatiga y un aumento en la producción de potencia. (49) Véase Anexo 2. (51)

En base a este mecanismo atenuador de H⁺ en el tejido muscular, con varios estudios que confirman su eficacia como agente amortiguador extracelular, (49)(50)(51)(52) podemos afirmar que la suplementación con bicarbonato de sodio (NaHCO₃) puede mejorar el rendimiento del ejercicio de corta duración (~ 1–10 min) y de alta intensidad.

Los mejores ejercicios para mejorar el rendimiento, mediante la suplementación con SB, son ejercicios de alta intensidad, de corta a media distancia, con una duración de hasta cuatro minutos, por ejemplo: natación (200 m), ciclismo (hasta 4 km) y carrera (hasta 1500). (49)(51) En cuanto a las carreras de media/larga distancia, la fatiga que ocurre en la última parte de la competición podría deberse en parte a la acidosis intracelular y, en consecuencia, la acidosis reducida en la carrera con SB puede permitir el mantenimiento de la producción submáxima durante un período más largo. Sabemos que la acidosis limita la capacidad de mantener el rendimiento submáximo, aunque el mecanismo exacto aún no está claro. (50)

Finalmente, se observa un efecto inverso entre el efecto ergogénico y el estado de entrenamiento, (49) lo que significa que cuanto más entrenado esté el individuo, menor es el efecto; ya que los atletas bien entrenados tienen una mayor capacidad de taponamiento.

4.5.4. Protocolos de uso y tiempos de utilización

Se propone que, la dosis de 0,3 g/kg proporciona un óptimo balance costo/beneficio. (49)(50)(51)(52) No se encuentran diferencias significativas en los efectos ergogénicos entre dosis de 0,3 a 0,5 g/kg, sin embargo, los efectos secundarios fueron mayores con 0,4 y 0,5 g/kg. Otras dosis menores parecen ser demasiado bajas para inducir mejoras en el rendimiento.

El momento de la ingestión en relación con el ejercicio también es importante, porque directamente influye en la cantidad de bicarbonato plasmático circulante. (50) Según la sociedad internacional de nutrición deportiva, (51) el momento recomendado para la ingesta de bicarbonato de sodio es entre 60 y 180 minutos antes del ejercicio o la competencia. Los protocolos de varios días de suplementación también pueden ser efectivos, con una duración de entre 3 y 7 días antes de la prueba, dividiendo la cantidad total en dosis más pequeñas, ingeridas a lo largo del día.

4.5.5. Perfil de seguridad y efectos secundarios

El malestar gastrointestinal (GI) agudo es un efecto secundario conocido de la ingestión de grandes cantidades de NaHCO₃, particularmente cuando se administra como solución acuosa. (50)(51)(52) Este resultado es provocado por la acumulación de CO₂ en el intestino, puede causar distensión y dolor abdominal, náuseas y vómitos, que son efectos secundarios graves y

de diversa índole. (52) Las cápsulas de NaHCO_3 de liberación retardada pueden mitigar estos síntomas gastrointestinales, aunque, también puede verse disminuida su biodisponibilidad. (50)(51) No obstante, un estudio reciente que usa SB con cubierta entérica muestra una mejora en el rendimiento de ciclismo de alta intensidad, en ciclistas entrenados, en comparación con PLA. (54) Igualmente, la mayoría de los estudios sugieren que la incidencia y la intensidad de estos síntomas son bajos. (50) Cualquier persona que planea usar SB debe proceder con precaución y considerar la necesidad de suplementación con SB de acuerdo con la importancia del ejercicio posterior.

4.6. Nitratos/jugo de remolacha

4.6.1. Definición

Los nitratos son sales formadas por moléculas de nitrógeno y oxígeno (O_2), que tienen en común la presencia del anión nitrato (NO_3^-). El nitrato inorgánico es un compuesto dietético natural que se encuentra principalmente en las verduras (sobre todo en vegetales de hoja verde y remolacha), (55) y aunque, en sí mismo es relativamente inerte, se han identificado vías metabólicas en humanos que convierten este compuesto en nitrito bioactivo y óxido nítrico (NO). El óxido nítrico (NO) es una molécula de señalización, conocida por su efecto vasodilatador por excelencia, e implicada en numerosas otras funciones vasculares y celulares incluida la contracción del músculo esquelético, la función endotelial, la biogénesis mitocondrial y la respiración, la reparación muscular y las defensas antioxidantes. (56)(57) Como tal, el NO se presenta como un compuesto interesante tanto desde una perspectiva deportiva.

Se propone que la disponibilidad de NO puede mejorarse aumentando la disponibilidad de sus precursores: NO_3^- , NO_2^- , L-arginina, L-citrulina o polifenoles. (58) Actualmente, se ha demostrado que una fuente vegetal (en concreto el jugo de remolacha concentrado) es más eficaz que las sales de NO_3^- tomadas como suplemento, debido a su mayor concentración y biodisponibilidad de nitrato inorgánico. (56)(57)(58) Por ello, la gran mayoría de los estudios, que revisamos en este artículo, utilizan el zumo concentrado de remolacha (BJ) como material de estudio, frente al resto de fuentes de nitratos y el nitrato en polvo.

4.6.2. Farmacocinética

La digestión del NO_3^- comienza en la boca, donde las bacterias anaerobias de la lengua reducen un ~25 % del NO_3^- a nitrito (NO_2^-). (55) Parte del NO_2^- obtenido resulta en la formación de NO y otras especies reactivas de nitrógeno, en un proceso dependiente del pH ácido del ambiente gástrico. La mayor parte del NO_3^- circulante, se excreta, finalmente, a través de la orina. Los niveles plasmáticos de NO_3^- alcanzan su punto máximo después de su ingestión de aproximadamente 2 a 3h. (57)

Es importante tener en cuenta que, este proceso de reciclaje de NO_3^- se ve gravemente afectado cuando se usan enjuagues bucales orales de forma regular, ya que destruyen las bacterias orales y, en consecuencia, reducen los niveles plasmáticos de NO_3^- . Por lo que se debería advertir a los atletas de este efecto durante los períodos de suplementación con NO_3^- . (56)(57)(58)

El NO, se sintetiza a través de dos vías, una de las cuales es dependiente de la *óxido nítrico sintasa* (NOS) y otra independiente de la NOS. El NO se sintetiza, a través de la vía dependiente de NOS, a partir de L-arginina y oxígeno. *Vease Anexo 3.* (61) Los polifenoles pueden mejorar la producción de NO, al promover su biodisponibilidad, a través de sus efectos antioxidantes. (58) La ruta del nitrato-nitrito-óxido nítrico es independiente del O_2 , por lo que se ve favorecida por estados de O_2 bajos, como puede ser el caso de un tejido isquémico o el músculo cuando se realiza actividad física, además de ambientes ácidos. (59)

4.6.3. Mecanismos de acción

Según la literatura actual, la suplementación con NO_3^- dietético aumenta la biodisponibilidad del óxido nítrico (NO) a través de la vía nitrato-nitrito-NO (independiente de O_2), durante el ejercicio de larga duración y alta intensidad y el ejercicio intermitente de alta intensidad y basado en la fuerza, (55)(56)(57) gracias a que este tipo de actividades hacen del músculo un ambiente hipóxico y ácido. (59). Según el COI (8) el impacto de la suplementación con NO_3^- está en el rango de 4 a 25 %, para las pruebas de tiempo hasta el agotamiento, y de 1 a 3 %, para las pruebas específicas del deporte que duran menos de 40 min. Se espera que NO_3^- tenga el mayor efecto entre el rango de aproximadamente 12 y 40 min., siendo eficaz independientemente de las condiciones normóxicas o hipóxicas. (58)

Cuando el ejercicio se realiza posteriormente a la toma de BJ, se observa una modulación de la función del músculo esquelético, potenciando las propiedades contráctiles del tejido muscular (p. ej., fuerza contráctil provocada). (57)(60) Estos efectos parecen preferir en las fibras musculares tipo II en comparación con las fibras musculares tipo I. (56)(57)(58)(59)(60) Aunque se requiere más trabajo, estos hallazgos son consistentes con la hipótesis de que el músculo esquelético sea un posible sitio de amortiguamiento de nitrato, y respalda la idea del tejido muscular esquelético como reservorio de este. (60)(62)

Por último, se informa que, la suplementación con nitrato es menos pronunciada en individuos bien entrenados ($\text{VO}_{2\text{max}} > 65 \text{ mL/kg/min}$), y también se observa una discrepancia de resultados similares en hombres y mujeres, observando un menor efecto ergogénico en ellas. (56) Por lo que, se invita a la comunidad científica a estudiar tales efectos sobre las mujeres deportistas, y de igual forma, establecer un protocolo bien optimizado y adecuado a su fisiología.

4.6.4. Protocolos de uso y tiempos de utilización

La mayoría de los estudios coinciden en que, el intervalo específico para la dosis de suplementación sea de 5 a 9 mmol (310 a 560 mg) de NO_3^- tomado de 2 a 3 h antes del ejercicio, de forma aguda o, mediante un protocolo prolongado superior a 3 días. (55)(56) También se pueden encontrar recomendaciones similares del COI (8) y de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. (23) Los datos hasta la fecha sugieren que la ingesta aguda o crónica de NO_3^- provoca las mismas adaptaciones en el músculo esquelético, principalmente responsables del rendimiento del ejercicio intermitente de alta intensidad. Sin embargo, la ingesta crónica de NO_3^- durante más de 3 días consecutivos antes de la carrera, puede generar mayores beneficios para los atletas bien entrenados; son éstos los que más se benefician de su uso a largo plazo, debido a que la toma esporádica no ha demostrado notorias mejorías. (55)(58)

4.6.5. Perfil de seguridad y efectos secundarios

A día de hoy, los efectos secundarios y adversos estudiados son pocos concluyentes, debido a la enorme variabilidad de concentraciones de nitratos según formulaciones y entre las mismas, por lo que existe debate sobre la seguridad del nitrito ingerido. Igualmente, el nitrato en sí es relativamente poco tóxico; la toxicidad viene determinada por su conversión a nitrito y la potencial formación de nitrosaminas- (49) Además, cualquier efecto dañino es inhibido por los antioxidantes que acompañan al nitrato en las verduras. De hecho, el último consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (23) coincide en que no hay evidencia de efectos nocivos del nitrato en la dieta cuando se consume a través de alimentos y jugos ricos en nitrato, como verduras, ensaladas y jugo de remolacha concentrado o no concentrado. Por el contrario, no se llega a un consenso sobre los posibles efectos adversos de las sales, geles, bebidas o chicles de nitrato. (23)(57)

5. Conclusiones

Teniendo presente los principales objetivos de nuestra revisión, procedemos a presentar unas conclusiones generales y de cada suplemento en base a la bibliografía consultada.

1. Hay evidencia clara del efecto ergogénico que producen estos suplementos en el rendimiento deportivo. Se presentan como resultados la disminución de la fatiga, el aumento de la recuperación muscular y una optimización del sistema inmunitario, reduciendo así la probabilidad de lesionarse y garantizando la salud de los atletas.
2. Existe un indiscutible soporte científico del efecto ergogénico de la suplementación con creatina en deportistas. Es la que presenta unos efectos beneficiosos sobre la salud y un perfil de seguridad más establecido, debido a su amplio recorrido científico. La creatina

aumenta las reservas de fosfocreatina a nivel del tejido esquelético (molécula clave en los ejercicios de máxima intensidad), actuando como anabolizante y anticatabolizante muscular, significativo en una amplia gama de deportes, además, sobre la salud de la población en general y como terapia de ciertas enfermedades.

3. La cafeína se establece como ayuda ergogénica con nivel de evidencia “muy fuerte” según el Instituto Australiano del Deporte, gracias a su potente efecto en virtud de su capacidad antagonista del SNC, atenuando la vía de dolor y, a nivel periférico por la potenciación de la β -oxidación de los ácidos grasos. Dosis pequeñas, entre 3-5 mg/Kg de peso, se presentan como beneficiosas, y se recomienda indistintamente para esfuerzos aeróbicos y anaeróbicos.
4. La suplementación con β -alanina concluye en una significativa disminución de la fatiga periférica, debido, principalmente, a su aumento de carnosina intramuscular. La β -alanina se establece, así, como un excelente amortiguador intracelular; reciclando los iones de hidrógeno que se acumulan en el músculo durante los ejercicios de alta intensidad, atenuando la acidosis muscular.
5. La comunidad científica define el bicarbonato de sodio como un gran tampón extracelular, gracias a su enorme eficacia disminuyendo el pH del tejido esquelético, creando un flujo de iones H^+ positivo hacia el torrente sanguíneo. Al igual que la β -alanina, es un suplemento idóneo en ejercicios de actividad submáxima y de duración entre 1 y 10 minutos.
6. El uso de zumo de remolacha como consecuencia de su gran concentración de nitratos, se forja como un efectivo suplemento deportivo. Los nitratos se reducen a óxido nítrico, esta molécula promueve la vasodilatación y aumenta el flujo sanguíneo a nivel muscular; lo que se traduce en un mayor incremento del aporte de oxígeno y nutrientes al músculo, clave en el ejercicio aeróbico. Se destaca su efectividad, mayoritariamente, en su adaptabilidad crónica al entrenamiento, importante en los deportistas entrenados ($VO_{2max} > 65 \text{ mL/kg/min}$).
7. Aunque los estudios y revisiones analizados en este trabajo han aportado una información valiosa y útil, debemos enfatizar que su consumo debe ser controlado por expertos en la materia, durante la práctica deportiva en los entrenamientos y en la competencia, para garantizar la seguridad y salud de nuestros deportistas, y evitar efectos no deseables. Se reclaman investigaciones adicionales y evaluaciones interindividuales en atletas.
8. Se necesitan personas que formen parte de este ámbito deportivo y que estén formadas, y en constante aprendizaje, en nutrición del deporte; para poder aplicar todas las ayudas que puedan ser beneficiosas, desde una perspectiva propia como atleta, además de como experto.

6. Bibliografía

1. Peeling P, Castell LM, Derave W, de Hon O, Burke LM. Sports Foods and Dietary Supplements for Optimal Function and Performance Enhancement in Track-and-Field Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019 Mar 1;29(2):198-209.
2. Konopka MJ, Zeegers MP, Solberg PA, Delhaije L, Meeusen R, Ruigrok G, Rietjens G, Sperlich B. Factors associated with high-level endurance performance: An expert consensus derived via the Delphi technique. *PLoS One.* 2022 Dec 27;17(12): e0279492.
3. Cheng AJ, Place N, Westerblad H. Molecular Basis for Exercise-Induced Fatigue: The Importance of Strictly Controlled Cellular Ca²⁺ Handling. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018 Feb 1;8(2): a029710
4. Alghannam AF, Gonzalez JT, Betts JA. Restoration of Muscle Glycogen and Functional Capacity: Role of Post-Exercise Carbohydrate and Protein Co-Ingestion. *Nutrients.* 2018 Feb 23;10(2):253.
5. Burke, LM, Jeukendrup, AE, Jones, AM y Mooses, M. Estrategias de nutrición contemporáneas para optimizar el rendimiento en corredores de distancia y caminantes, *Revista internacional de nutrición deportiva y metabolismo del ejercicio.* (2019) 29 (2), 117-129.
6. Garthe, I. y Maughan, RJ. Atletas y suplementos: prevalencia y perspectivas, *Revista internacional de nutrición deportiva y metabolismo del ejercicio.* (2018). 28 (2), 126-138.
7. Tabata, S., Yamasawa, F., Torii, S. et al. Uso de suplementos nutricionales por atletas de atletismo japoneses de élite. *J Int Soc Sports Nutr* (2020) 17, 38.
8. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, Rawson ES, Walsh NP, Garthe I, Geyer H, Meeusen R, van Loon LJC, Shirreffs SM, Spriet LL, Stuart M, Vernec A, Currell K, Ali VM, Budgett RG, Ljungqvist A, Mountjoy M, Pitsiladis YP, Soligard T, Erdener U, Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr; 52(7):439-455.
9. Mota GR, Marocolo M. Editorial: Ergogenic Aids: Physiological and Performance Responses. *Front Sports Act Living.* 2022 May 16; 4:902024.
10. Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, Collins R, Cooke M, Davis JN, Galvan E, Greenwood M, Lowery LM, Wildman R, Antonio J, Kreider RB. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018 Aug 1;15(1):38.

- 11 Santesteban Moriones V, Ibáñez Santos J. Ayudas ergogénicas en el deporte [Ergogenic aids in sport]. *Nutr Hosp.* 2017 Feb 1;34(1):204-215.
- 12 Kozhuharov VR, Ivanov K, Ivanova S. Dietary Supplements as Source of Unintentional Doping. *Biomed Res Int.* 2022 Apr 22; 2022:8387271.
- 13 Duiven E, van Loon LJC, Spruijt L, Koert W, de Hon OM. Undeclared Doping Substances are Highly Prevalent in Commercial Sports Nutrition Supplements. *J Sports Sci Med.* 2021 Mar 22;20(2):328-338.
- 14 AIS-Supplement-Framework-ABCD-System_v4.pdf [internet] [citado el 22 de marzo de 2023]. Disponible en: https://www.ais.gov.au/_data/assets/pdf_file/0006/1082517/AIS-Supplement-Framework-ABCD-System_v4.pdf
- 15 Calvo, JL, Xu, H., Mon-López, D. et al. Efecto de la contribución de bicarbonato de sodio en el metabolismo energético durante el ejercicio: una revisión sistemática y un metanálisis. *J Int Soc Sports Nutr* (2021).18, 11
- 16 Martínez-Sanz JM, Fernández Nuñez A, Sospedra I, Martínez-Rodríguez A, Domínguez R, González-Jurado JA, Sánchez-Oliver AJ. Nutrition-Related Adverse Outcomes in Endurance Sports Competitions: A Review of Incidence and Practical Recommendations. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Jun 8;17(11):4082
- 17 Ardern, C. L., Büttner, F., Andrade, R., Weir, A., Ashe, M. C., Holden, S., Impellizzeri, F. M., Delahunt, E., Dijkstra, H. P., Mathieson, S., Rathleff, M. S., Reurink, G., Sherrington, C., Stamatakis, E., Vicenzino, B., Whittaker, J. L., Wright, A. A., Clarke, M., Moher, D., Page, M. J., ... Winters, M. Implementing the 27 PRISMA 2020 Statement items for systematic reviews in the sport and exercise medicine, musculoskeletal rehabilitation and sports science fields: the PERSiST (implementing Prisma in Exercise, Rehabilitation, Sport medicine and SporTs science) guidance. *British journal of sports medicine*, (2022). 56(4), 175–195.
- 18 Wax, B., Kerksick, C. M., Jagim, A. R., Mayo, J. J., Lyons, B. C., & Kreider, R. B. Creatine for Exercise and Sports Performance, with Recovery Considerations for Healthy Populations. *Nutrients*, (2021).13(6), 1915.
- 19 Kim, J., & Kim. J. Nutritional Supplement for Athletic Performance: Based on Australian Institute of Sport Sports Supplement Framework. *Exercise Science*, (2019). 28(3), 211-220
- 20 O'Connor, E., Mündel, T., & Barnes, M. J. Nutritional Compounds to Improve Post-Exercise Recovery. *Nutrients*. (2022). 14(23), 5069.
- 21 Kreider, R. B., Jäger, R., & Purpura, M. Bioavailability, Efficacy, Safety, and Regulatory Status of Creatine and Related Compounds: A Critical Review. *Nutrients*, (2022). 14(5), 1035.

- 22 Forbes, S. C., Cordingley, D. M., Cornish, S. M., Gualano, B., Roschel, H., Ostojic, S. M., Rawson, E. S., Roy, B. D., Prokopidis, K., Giannos, P., & Candow, D. G. Effects of Creatine Supplementation on Brain Function and Health. *Nutrients*, (2022). 14(5), 921.
- 23 de Antuñano, N. P. G., Marqueta, P. M., Redondo, R. B., Fernández, C. C., Bonafonte, L. F., Aurrekoetxea, T. G., ... & García, J. A. V. Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte-2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. (2019). *Arch. Med. Deporte*, 36, 1-114.
- 24 Arazi, H., Eghbali, E., & Suzuki, K. Creatine Supplementation, Physical Exercise and Oxidative Stress Markers: A Review of the Mechanisms and Effectiveness. *Nutrients*, (2021). 13(3), 869.
- 25 Gonzalez, D. E., McAllister, M. J., Waldman, H. S., Ferrando, A. A., Joyce, J., Barringer, N. D., Dawes, J. J., Kieffer, A. J., Harvey, T., Kerksick, C. M., Stout, J. R., Ziegenfuss, T. N., Zapp, A., Tartar, J. L., Heileson, J. L., VanDusseldorp, T. A., Kalman, D. S., Campbell, B. I., Antonio, J., & Kreider, R. B. International society of sports nutrition position stand: tactical athlete nutrition. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. (2022), 19(1), 267–315
- 26 Matthews, J. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Santos, L., Artioli, G. G., Turner, M. D., Elliott-Sale, K. J., & Sale, C. Effect of Carnosine or β -Alanine Supplementation on Markers of Glycemic Control and Insulin Resistance in Humans and Animals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, (2021). 12(6), 2216–2231.
- 27 Bonilla, D. A., Kreider, R. B., Stout, J. R., Forero, D. A., Kerksick, C. M., Roberts, M. D., & Rawson, E. S. Metabolic Basis of Creatine in Health and Disease: A Bioinformatics-Assisted Review. *Nutrients*, (2021). 13(4), 1238.
- 28 Saito, S., Cao, D. Y., Okuno, A., Li, X., Peng, Z., Kelel, M., & Tsuji, N. M. Creatine supplementation enhances immunological function of neutrophils by increasing cellular adenosine triphosphate. *Bioscience of microbiota, food and health*, (2022). 41(4), 185–194
- 29 Cano-Vázquez EN, Canto-Pacheco GG, Valdez-Cabrera C, et al. Troponina I, creatina-fosfoquinasa y creatina-fosfoquinasa-MB en recién nacidos con sospecha de asfixia neonatal [Troponin I, creatine-phosphokinase and creatine-phosphokinase-MB in newborns with suspected neonatal asphyxia]. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. (2020). 58(6):673-678.
- 30 de Salazar, L., Segarra, I., López-Román, F. J., Torregrosa-García, A., Pérez-Piñero, S., & Ávila-Gandía, V. Increased Bioavailability of β -Alanine by a Novel Controlled-Release Powder Blend Compared to a Slow-Release Tablet. *Pharmaceutics*, (2021). 13(9), 1517.

- 31 Brisola, G. M. P., & Zagatto, A. M. Ergogenic Effects of β -Alanine Supplementation on Different Sports Modalities: Strong Evidence or Only Incipient Findings?. *Journal of strength and conditioning research*, (2019). 33(1), 253–282.
- 32 Stecker, RA, Harty, PS, Jagim, AR, Candow, DG y Kerksick, CM Momento de las ayudas ergogénicas y los micronutrientes en el rendimiento muscular y del ejercicio. *Revista de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva*, (2019). 16 (1), 37.
- 33 Perim, P., Marticorena, F. M., Ribeiro, F., Barreto, G., Gobbi, N., Kerksick, C., Dolan, E., & Saunders, B. Can the Skeletal Muscle Carnosine Response to Beta-Alanine Supplementation Be Optimized?. *Frontiers in nutrition*, (2019). 6, 135.
- 34 Varanoske, AN, Hoffman, JR, Church, DD et al. Comparación de formulaciones de β -alanina de liberación sostenida y de liberación rápida sobre los cambios en el contenido de carnosina e histidina del músculo esquelético y el rendimiento isométrico después de un protocolo de daño muscular. *Aminoácidos*. (2019). 51, 49–60.
- 35 Burke, LM, Castell, LM, Casa, DJ, Close, GL, Costa, RJS, Desbrow, B., Halson, SL, Lis, DM, Melin, AK, Peeling, P., Saunders, PU, Slater, GJ, Sygo, J., Witard, OC, Bermon, S. y Stellingwerff, T. Declaración de consenso de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo 2019: Nutrición para el atletismo, *Revista internacional de nutrición deportiva y metabolismo del ejercicio*. (2019). 29 (2), 73-84
- 36 DE Camargo, J. B. B., Brigatto, F. A., Zaroni, R. S., Germano, M. D., DA Conceição, R. M., Martins, A. N., Aoki, M. S., Braz, T. V., & Lopes, C. R. Beta-alanine Supplementation for Four Weeks Increases Volume Index and Reduces Perceived Effort of Resistance-trained Men: A Pilot Study. *International journal of exercise science*, (2021). 14(2), 994–1003.
- 37 Matthews, J. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Santos, L., Artioli, G. G., Turner, M. D., Elliott-Sale, K. J., & Sale, C. Effect of Carnosine or β -Alanine Supplementation on Markers of Glycemic Control and Insulin Resistance in Humans and Animals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, (2021). 12(6), 2216–2231.
- 38 Wang, Z., Qiu, B., Gao, J., & Del Coso, J. Effects of Caffeine Intake on Endurance Running Performance and Time to Exhaustion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, (2022). 15(1), 148.
- 39 Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, BJ, Bishop, DJ y Pedisic, Z. Despiértese y huela el café: suplementos de cafeína y rendimiento del ejercicio: una revisión general de 21 metanálisis publicados. *Revista británica de medicina deportiva*, (2020). 54 (11), 681-688.

- 40 Kennedy, D. O., & Wightman, E. L. Mental Performance and Sport: Caffeine and Co-consumed Bioactive Ingredients. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. (2022). 52(Suppl 1), 69–90
- 41 Tamilio, R. A., Clarke, N. D., Duncan, M. J., Morris, R. O., & Tallis, J. How Repeatable Is the Ergogenic Effect of Caffeine? Limited Reproducibility of Acute Caffeine (3 mg.kg⁻¹) Ingestion on Muscular Strength, Power, and Muscular Endurance. *Nutrients*. (2022). 14(20), 4416.
- 42 https://www.ais.gov.au/data/assets/pdf_file/0004/1000498/36194_Sport-supplement-fact-sheets-Caffeine-v6.pdfInstituto (2021). [internet]. [citado 13 de abril de 2023] Disponible en: https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements/group_a#caffeine
- 43 Nanci S. Guest, Trisha A. VanDusseldorp, Michael T. Nelson, Jozo Grgic, Brad J. Schoenfeld, Nathaniel DM Jenkins, Shawn M. Arent, José Antonio, Jeffrey R. Stout, Eric T. Trexler, Abbie E. Smith- Ryan, Erica R. Goldstein, Douglas S. Kalman & Bill I. Campbell Soporte de posición de la sociedad internacional de nutrición deportiva: cafeína y rendimiento del ejercicio, *Revista de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva* (2021). 18: 1.
- 44 Sanchis C, Blasco E, Luna FG, Lupiáñez J. Effects of caffeine intake and exercise intensity on executive and arousal vigilance. *Sci Rep*. 2020 May 21;10(1):8393
- 45 Shen, JG, Brooks, MB, Cincotta, J. y Manjourides, JD. Establecimiento de una relación entre el efecto de la cafeína y la duración de los eventos de contrarreloj atlético de resistencia: una revisión sistemática y un metanálisis. *Revista de ciencia y medicina en el deporte*, 22 (2), 232-238. Habituated to Caffeine. *Nutrients*, (2019). 11(8), 1912.
- 46 Takada, S., Fumoto, Y., & Kinugawa, S. Ergogenic effects of caffeine are mediated by myokines. *Frontiers in sports and active living*. (2022). 4, 969623.
- 47 Mauricio Ramírez-Maldonado, Lucas Jurado-Fasoli, Juan del Coso, Jonatan R. Ruiz & Francisco J. Amaro-Gahete La cafeína aumenta la oxidación máxima de grasas durante una prueba de ejercicio graduado: ¿existe una variación diurna?, *Journal of the International Society of Nutrition Deportiva*, (2021) 18:1,
- 48 Barceló Cormano, E., Blasco Redondo, R., Blanco Rogel, M., & Bach-Faig, A. Efecto de la cafeína como ayuda ergogénica para evitar y prevenir la fatiga muscular. *Arch. med. deporte*, (2019). 368-375.
- 49 Grgic J, Pedisic Z, Saunders B, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr*. (2021) 18(1):61.
- 50 Hadzic M, Eckstein ML, Schugardt M. The Impact of Sodium Bicarbonate on Performance in Response to Exercise Duration in Athletes: A Systematic Review. *J Sports Sci Med*. (2019) 18(2):271-281.

- 51 Lassen TA, Lindstrøm L, Lønbro S, Madsen K. Mayor rendimiento en corredores de élite después de la administración individualizada de bicarbonato de sodio. *Revista internacional de nutrición deportiva y metabolismo del ejercicio*. (2021). 31(6):453-459.
- 52 Lino RS, Lagares LS, Oliveira CVC, et al. Effect of sodium bicarbonate supplementation on two different performance indicators in sports: a systematic review with meta-analysis. *Phys Act Nutr*. (2021). 25(1):7-15.
- 53 Wang J, Qiu J, Yi L, Hou Z, Benardot D, Cao W. Effect of sodium bicarbonate ingestion during 6 weeks of HIIT on anaerobic performance of college students. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019 Apr 15;16(1):18.
- 54 Hilton, NP, Leach, NK, Hilton, MM *et al*. La suplementación con bicarbonato de sodio con recubrimiento entérico mejora el rendimiento en ciclismo de alta intensidad en ciclistas entrenados. *Eur J Appl Physiol* (2020). 1563–1573
- 55 Shannon OM, Allen JD, Bescos R, et al. Dietary Inorganic Nitrate as an Ergogenic Aid: An Expert Consensus Derived via the Modified Delphi Technique. *Sports Med*. (2022). 52(10):2537-2558.
- 56 Senefeld JW, Wiggins CC, Regimbal RJ, Dominelli PB, Baker SE, Joyner MJ. Ergogenic Effect of Nitrate Supplementation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. (2020). 52(10):2250-2261.
- 57 Ranchal-Sanchez A, Diaz-Bernier VM, De La Florida-Villagran CA, Llorente-Cantarero FJ, Campos-Perez J, Jurado-Castro JM. Acute Effects of Beetroot Juice Supplements on Resistance Training: A Randomized Double-Blind Crossover. *Nutrients*. (2020). 12(7):1912.
- 58 d'Unienville NMA, Blake HT, Coates AM, Hill AM, Nelson MJ, Buckley JD. Effect of food sources of nitrate, polyphenols, L-arginine and L-citrulline on endurance exercise performance: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *J Int Soc Sports Nutr*. (2021). 18(1): 76.
- 59 Jonvik KL. Dietary Nitrate and Nitric Oxide Metabolism: Mouth, Circulation, Skeletal Muscle, and Exercise Performance. *Med Sci Sports Exerc*. (2021). 53(2):280-294.
- 60 Nyakayiru J, van Loon LJC, Verdijk LB. Could intramuscular storage of dietary nitrate contribute to its ergogenic effect? A mini-review. *Free Radic Biol Med*. (2020) 152:295-300.
- 61 Tan R, Cano L, Lago-Rodríguez Á, Domínguez R. The Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Explosive Exercise Performance: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. (2022). 19(2):762.

- 62 Wylie LJ, Park JW, Vanhatalo A, et al. Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise. *J Physiol.* (2019). 597(23):5565-5576.
- 63 Jones AM, Vanhatalo A, Seals DR, Rossman MJ, Piknova B, Jonvik KL. Dietary Nitrate and Nitric Oxide Metabolism: Mouth, Circulation, Skeletal Muscle, and Exercise Performance. *Med Sci Sports Exerc.* (2021). 53(2):280-294.

ANEXOS

Anexo 1

Evento	Cafeína	Creatina	Nitrato	β-alanina	Bicarbonato
Velocidades: 100 m, 100 m vallas, 110 m vallas y 200 m	✓	✓			
Sprints sostenidos: 400 m y 400 m con vallas	✓	✓		✓	✓
Medio fondo: 800 m, 1500 m, 3000 m y persecución con obstáculos	✓		✓	✓	✓
Larga distancia: 5.000 m, 10.000 m, campo a través, carrera de 20 km a pie, media maratón, maratón, carrera a pie de 50 km y carrera de montaña/ultra	✓		✓		
Salto y lanzamientos: salto de altura, salto de longitud, triple salto, salto con pértiga, lanzamiento de disco, lanzamiento de martillo, lanzamiento de jabalina y lanzamiento de peso	✓	✓			
Multieventos: heptatlón y decatión	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 1. Suplementos de rendimiento que pueden lograr una ganancia de rendimiento marginal en eventos de atletismo como parte de un plan de entrenamiento y nutrición a medida y periodizado.

Anexo 2

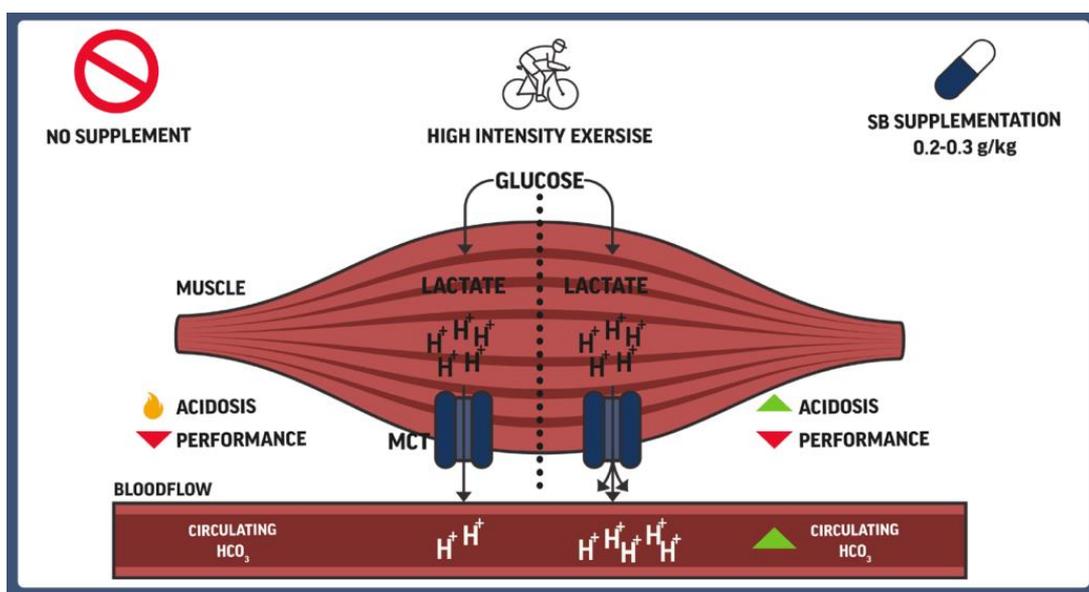


Imagen 1. Capacidad amortiguadora del músculo sin (izquierda) y con (derecha) suplementación de bicarbonato.

Anexo 3

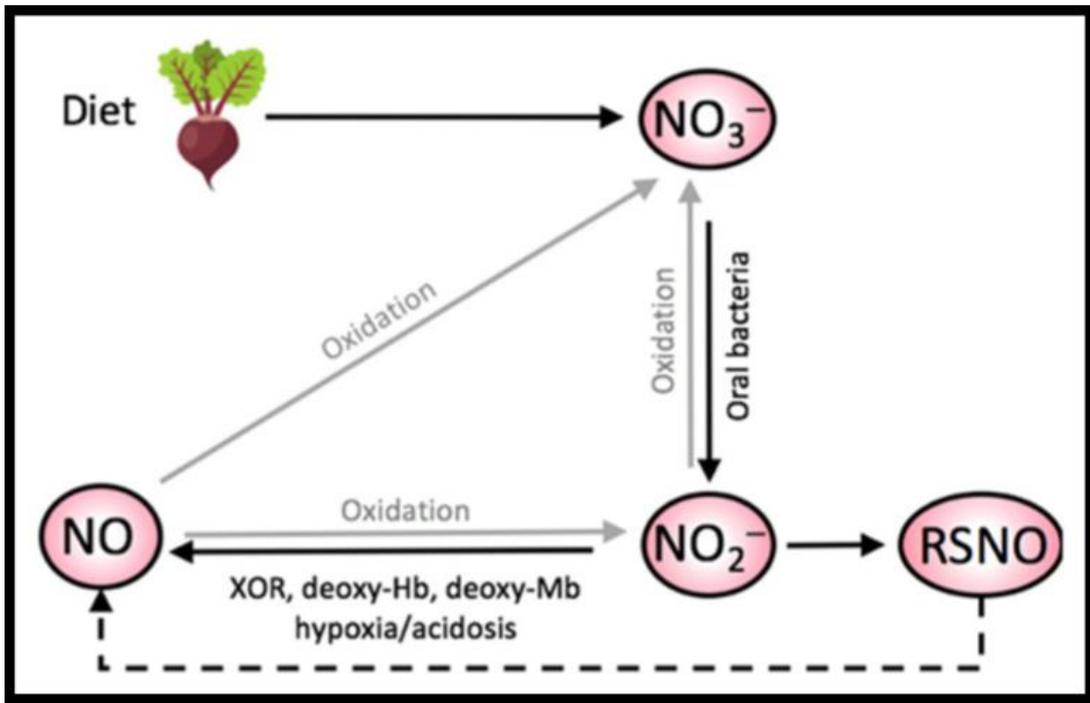


Imagen 2. Esquema de la vía nitrato-nitrito-óxido nítrico (NO_3^- - NO_2^- - NO), que se ve facilitada por ambientes de baja tensión de oxígeno y acidosis.