



## Revisión

### Ayudas ergogénicas en el deporte *Ergogenic aids in sport*

Virginia Santesteban Moriones y Javier Ibáñez Santos

Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte (CEIMD). Gobierno de Navarra. Pamplona

#### Resumen

**Introducción:** muy pocos suplementos nutricionales han demostrado científicamente su eficacia como ayuda ergogénica. Esta revisión analizará el monohidrato de creatina (MC), el  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilbutirato (HMB), el bicarbonato sódico (BS), la  $\beta$ -alanina y la cafeína.

**Objetivos:** analizar la eficacia, mecanismos de acción, dosis, efectos adversos y algunos deportes que se pueden beneficiar de su consumo.

**Métodos:** búsqueda en la base de datos PubMed de revisiones bibliográficas de los últimos 15 años y artículos originales de los últimos 5 años de las sustancias estudiadas.

**Resultados:** dosis de MC de 20 g/día durante 4-7 días son eficaces para mejorar la fuerza y la potencia muscular y el rendimiento en *sprints* cortos y repetidos. El HMB en dosis de 3 g/día durante un mínimo de 2 semanas contribuye al aumento de la masa magra y de la masa libre de grasa. La ingesta de 0,3 g/kg de BS mejora el rendimiento en pruebas de 400-1.500 m de atletismo y en *sprints* intermitentes. Por su parte, dosis de 80 mg/kg/día de  $\beta$ -alanina durante 4-10 semanas pueden mejorar el rendimiento en ejercicios intermitentes de alta intensidad. Finalmente, la cafeína en dosis de 2 mg/kg mejora la capacidad de reacción y en dosis de 3-6 mg/kg mejora el rendimiento en pruebas de resistencia aeróbica.

**Conclusiones:** los suplementos revisados presentan una demostrada eficacia en el rendimiento físico, pero hay que tener en cuenta que la mayoría de los estudios se han realizado con deportistas de nivel recreativo. Generalmente, la mejora del rendimiento físico con estos suplementos es menor cuanto mejor es el nivel deportivo del individuo; sin embargo, un incremento de apenas un 1% permite a veces avanzar varios puestos en una final. Finalmente, se debe llamar la atención sobre la importancia de optimizar la alimentación antes de plantearse la introducción de suplementos deportivos, especialmente en niños y jóvenes. Las sustancias que hemos analizado poseen una base científica que respalda su efecto ergogénico. Todas ellas se pueden encontrar en el mercado con Certificado de Calidad y Pureza.

#### Palabras clave:

Monohidrato de creatina.  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilbutirato. Bicarbonato sódico.  $\beta$ -alanina. Cafeína. Rendimiento físico.

#### Abstract

**Introduction:** Very few nutritional supplements have scientifically demonstrated their effectiveness as an ergogenic aid. This review will examine creatine monohydrate (MC), the  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB), sodium bicarbonate (BS), the  $\beta$ -alanine and caffeine.

**Objectives:** To analyze the efficacy, mechanisms of action, dose, side effects and some sports that can benefit from their consumption.

**Methods:** Searching in PubMed bibliographic database reviews from the last 15 years and original articles from the last 5 years of the studied substances.

**Results:** Doses of 20 mg/day for 4-7 days are effective in improving strength and muscular power and performance in short and repeated sprints. HMB at doses of 3 g/day for at least 2 weeks contributes to increased lean mass and fat-free mass. The intake of 0.3 g/kg of BS improves performance on tests of 400-1,500 meters in athletics and intermittent *sprints*. Meanwhile, doses of 80 mg/kg/day of  $\beta$ -alanine for 4-10 weeks may improve performance in high-intensity intermittent exercise. Finally, caffeine at doses of 2 mg/kg improves responsiveness and 3-6 mg/kg improves performance in endurance tests.

**Conclusions:** The revised supplements have shown their efficacy in physical performance, but it is needed to keep in mind that most studies have been conducted with recreational-level athletes. Generally, the better the individual's fitness level is the less improvement in physical performance the supplement shows. However, an increase of only 1% may sometimes allow the athlete to advance several positions in a final. Finally, we should draw attention to the importance of optimizing nutrition before considering the introduction of sports supplements, especially in children and youth. All analyzed substances have scientific basis supporting its ergogenic effect. All of them can be found in the market with Certificate of Quality and Purity.

#### Key words:

Creatine monohydrate.  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate. Sodium bicarbonate.  $\beta$ -alanine. Caffeine. Physical performance.

Recibido: 07/04/2016  
Aceptado: 22/08/2016

Santesteban Moriones V, Ibáñez Santos J. Ayudas ergogénicas en el deporte. Nutr Hosp 2017;34:204-215

DOI: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.997>

#### Correspondencia:

Javier Ibáñez Santos. Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte (CEIMD). Gobierno de Navarra. C/ Sangüesa, 34. 31005 Pamplona  
e-mail: [javier.ibanez.santos@cfnavarra.es](mailto:javier.ibanez.santos@cfnavarra.es)

## INTRODUCCIÓN

En el deporte de alto rendimiento, los deportistas están frecuentemente sometidos a una gran carga de entrenamiento y de competición, por lo que la alimentación resulta clave para mantener un buen estado de salud, pero también para mejorar la calidad de sus entrenamientos y el rendimiento en competición, y para facilitar la recuperación posterior a los mismos. En este contexto surgen los suplementos nutricionales deportivos.

Un suplemento nutricional es un producto tomado por vía oral que contiene un "ingrediente dietético" para suplementar la dieta o para mejorar la marca deportiva. Puede incluir una amplia variedad de productos no farmacéuticos como, entre otros, vitaminas, minerales, proteínas, aminoácidos, preparaciones de medicina tradicional, extractos de hierbas, ácidos grasos esenciales, prebióticos, enzimas y metabolitos (1). Generalmente, el deportista busca en el suplemento nutricional un efecto ergogénico; es decir, una ayuda para mejorar el rendimiento físico. Muchos productos han sido analizados buscando ese efecto ergogénico. Sin embargo, muy pocos han podido demostrar científicamente su eficacia.

## OBJETIVOS

El propósito de esta revisión es analizar en detalle los suplementos nutricionales que están respaldados por una amplia, o creciente, base científica que demuestra su eficacia como ayuda ergogénica. En concreto, con cada sustancia se analizará:

1. La evidencia científica disponible sobre su eficacia.
2. Sus mecanismos de acción.
3. La dosis más adecuada.
4. Sus efectos adversos.
5. Los deportes en los que resulta más efectiva (Tabla I).

## MÉTODOS

El método utilizado ha sido la búsqueda exhaustiva a través de la base de datos PubMed (2). De los suplementos monohidrato de creatina, bicarbonato sódico y cafeína se han analizado revisiones sistemáticas de los últimos 15 años, ya que han sido los más estudiados y existe un consenso sobre su efecto. Además, se han analizado artículos originales sobre estudios aleatorizados sobre estas sustancias publicados en los últimos 5 años. Sin embargo, de la  $\beta$ -alanina y del  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilbutirato, debido a su más reciente irrupción en el mercado, se han analizado únicamente estudios aleatorizados publicados en los últimos 5 años. Las palabras clave utilizadas han sido, en primer lugar, el nombre de la sustancia que se va a estudiar (ejemplo: *caffeine*) seguida de la palabra *and*, y las palabras *supplementation*, *sport*, *physical performance*, *athletic performance*, *aerobic exercise*, *resistance exercise*, *muscle*, *muscle mass* o *strenght*.

## RESULTADOS

### MONOHIDRATO DE CREATINA

La creatina, o ácido  $\alpha$ -metilguanidinoacético, es un nutriente natural que se encuentra en diferentes alimentos, pero también se puede sintetizar en el organismo a partir de los aminoácidos glicina, arginina y metionina (3). Se obtiene en la dieta por el consumo de alimentos de origen animal, especialmente carnes y pescados (4). Se considera que las necesidades diarias de creatina en una persona de 70 kg son cercanas a 2 g. Una persona que siga una dieta mediterránea suele ingerir diariamente de 0,25 a 1 g. Por lo tanto, para cubrir sus necesidades diarias, el resto debe ser sintetizado por el organismo (5). El 95% de la creatina de nuestro organismo se encuentra en el músculo esquelético, sobre todo en las fibras de contracción rápida. La fosfocreatina, su forma fosforilada, supone un 65% de la creatina intracelular (3,4). Se secreta por vía renal (6).

### Mecanismo de acción

Se ha demostrado que el monohidrato de creatina (MC):

- Incrementa los niveles de fosfocreatina en el músculo, molécula esencial de la vía anaeróbica aláctica para la resíntesis del ATP (trifosfato de adenosina) (3,4,7,8).
- Facilita la hipertrofia muscular (9). Es capaz de incrementar la expresión de algunos genes encargados del control de la osmolaridad y la transducción genética, como la integrina-1, entre otras muchas, produciendo una retención intracelular de agua, que es lo que induce la hipertrofia muscular (10).
- Este mayor volumen muscular aumenta la capacidad de almacenamiento de glucógeno en el músculo (3).

### Efecto en el rendimiento deportivo

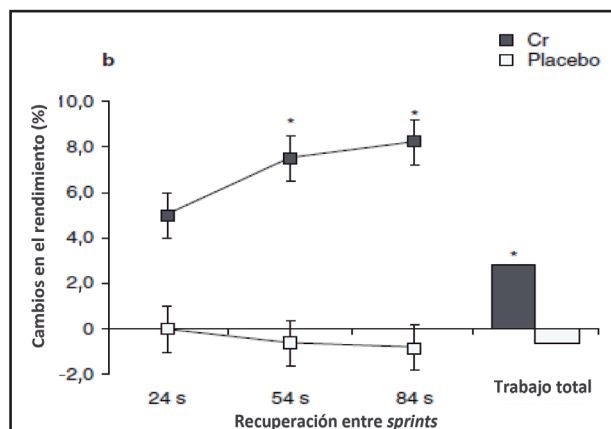
Debido a la relación del MC con la vía anaeróbica aláctica, gran parte de los estudios que utilizan este suplemento se centran en valorar su eficacia en *sprints*. Concretamente en *sprints* repetidos se ha observado un efecto positivo en determinados estudios, e inexistente en otros (3). Esto parece estar relacionado con la metodología de los mismos. Probablemente la mejora del rendimiento en *sprints* repetidos se explica por una mayor rapidez en la resíntesis de fosfocreatina y, por tanto, de ATP, entre cada sprint. Sin embargo, esta resíntesis comienza a producirse tras 60-120 segundos de recuperación. Por ello, los estudios en los que el tiempo de recuperación entre *sprints* es menor de 30 segundos no han encontrado resultados positivos, no así en aquellos en los que este tiempo era de 50-120 segundos (3). Un ejemplo de esto se muestra en la figura 1.

En general, estas mejoras se observan en *sprints* de unos 10-30 segundos de duración (3,4) y suponen un incremento del rendimiento en torno a un 1-2% (4), porcentaje que puede ser determinante en una competición de élite.

Tabla I. Resumen

Sustancia (laboratorios que disponen de productos con certificados de calidad y pureza)	Vía de síntesis de ATP	Categoría*	Dosis recomendada	Observaciones	Efectos adversos	Algunos deportes que se beneficiarían de su uso
Monohidrato de creatina (Infsport, GSN)	Anaeróbica aláctica	A	- 0,3 g/kg/día, 4-7 días (en 4 tomas diarias) + 0,04-0,07 g/kg (1 única dosis diaria), un mes	Acompañarlo con 100 g de hidratos de carbono y 50 g de proteína	- Ganancia de peso (retención de agua) - Calambres musculares - Problemas gastrointestinales si se toma solo	- Atletismo (100 y 200 m lisos, lanzamiento de peso) - Natación (50 y 100 m) - Halterofilia, lucha - Piragüismo - Fútbol, baloncesto, balonmano
HMB (Maxinutrition; Etixx NV)	Anaeróbica aláctica	B	- 3 g/día, en 3 tomas; una antes del entrenamiento y las otras 2 con las comidas, 2 semanas antes de la competición	Tomar 1 h antes del entrenamiento si es HMB-Ca, y 30 min antes si es HMB-FA	- Ganancia de peso	- Atletismo (100 y 200 m lisos, lanzamiento de peso) - Natación (50 y 100 m) - Halterofilia, lucha - Piragüismo
Bicarbonato sódico	Anaeróbica láctica	A	- 0,3 g/kg, 60-180 min antes del ejercicio (probar mejor momento)	Acompañarlo de hidratos de carbono y 7 ml/kg de agua	- Problemas gastrointestinales	- Atletismo (400, 800 y 1.500 m lisos) - Fútbol, hockey, rugby
$\beta$ -alanina (My Protein, Maxinutrition)	Anaeróbica láctica	A	- 4,8-6,4 g/día (aprox. 80 mg/kg/día), 4 tomas/día, 4-10 semanas. - Después, 1,2 g/día (4 tomas/día) como mantenimiento	Acompañado de hidratos de carbono y proteínas	- Parestesia	- Atletismo (400, 800 y 1.500 m lisos) - Fútbol, hockey, rugby
Cafeína (Etixx NV)	Aeróbica	A	- 3-6 mg/kg 1 h antes del ejercicio + 0,75-2 mg/kg durante el ejercicio prolongado - 1-2 mg/kg para mejorar los reflejos	Durante una prueba, mejor consumirla en forma de chicles	- de Fc y PA - Temblor, dolor de cabeza, nerviosismo, problemas gastrointestinales	- Atletismo (5.000 y 10.000 m lisos, marcha, maratón y triatlón) - Taekwondo, judo, karate - Hockey, fútbol, balonmano - En porteros, dosis pequeñas mejoran los reflejos

\*El Instituto Australiano del Deporte (AIS) (2) clasifica estos productos según el grado de consistencia científica que presentan: Grupo A (sustancias con demostrada eficacia), Grupo B (productos que están en estudio para confirmar su efecto), Grupo C (sustancias con muy pocas pruebas de eficacia) y Grupo D (productos que contienen sustancias prohibidas para el deporte).  
ATP: difosfato de adenosina; HMB:  $\beta$ -hidroxib- $\beta$ -metilbutirato.



**Figura 1.**

Cambios en el rendimiento (%) en *sprints* repetidos con diferentes tiempos de recuperación entre ellos, tras la suplementación con creatina (Cr). \*Indica resultados estadísticamente significativos (3).

Sin embargo, en *sprints* aislados no parecen encontrarse mejoras en el rendimiento (3,7). Esto parece indicar que la creatina tiene también alguna influencia en el desarrollo de la fatiga. Conviene destacar, no obstante, que la respuesta a esta sustancia puede ser heterogénea, existiendo individuos no respondedores (6).

Otro efecto importante de la suplementación de creatina es que aumenta la masa libre de grasa (3,4,11,12) y mejora la fuerza muscular y la potencia (3,4,11-13). Esto puede ayudar a soportar una mayor carga de entrenamientos, mejorando el rendimiento físico en la competición. De hecho, un estudio de Claudino y cols. (14) con jugadores de fútbol demostró que la suplementación con creatina prevenía la disminución de la potencia muscular conforme avanzaba la temporada.

Finalmente, en relación con la influencia del MC en el rendimiento aeróbico, el hecho de que la creatina facilite el almacenamiento de glucógeno en el músculo puede hacer pensar que podría mejorarlo. Sin embargo, estudios recientes llevados a cabo por Ramírez-Campillo y cols. (15) y Smith y cols. (16) no han encontrado un efecto ergogénico, pero tampoco ergolítico, en el ejercicio aeróbico.

## Dosis

En general, la pauta de suplementación de monohidrato de creatina suele ser una dosis de carga de 20 g/día (0,3 g/kg/día), distribuida en cuatro tomas, durante 4-7 días, seguida de una dosis de mantenimiento de 3-5 g/día (0,04-0,07 g/kg/día) durante un mes (3). La concentración de fosfocreatina en el músculo se incrementa un 15-20%, y estos niveles se mantienen hasta 5-8 semanas tras finalizar la suplementación (4). Sin embargo, algunos estudios cuestionan la necesidad de esta dosis de carga, al observarse el mismo incremento en la concentración de

fosfocreatina consumiendo 0,04 g/kg/día durante 30 días (4,12). Además, parece que el efecto ergogénico de la creatina disminuye tras periodos de más de 2 meses de suplementación, por lo que se recomienda un lavado de 2-4 semanas, cada 6-8 semanas de suplementación (3).

Respecto al momento idóneo para tomar este suplemento, Noonan y cols. (17) recomendaron, en la fase aguda, durante los días de entrenamiento, distribuir la dosis de la siguiente forma: el 25% de la dosis en el desayuno, 25% una hora antes del entrenamiento y el 50% restante justo después del entrenamiento. En los días de descanso sería suficiente con repartir las dosis en cuatro tomas iguales. A continuación, en la fase de mantenimiento se realizaría una única toma, justo después del entrenamiento o con la comida en los días de descanso. Por otro lado, Antonio y cols. (11) analizaron, más recientemente, la diferencia entre una ingesta inmediatamente anterior al entrenamiento e inmediatamente posterior. Este estudio concluyó que el consumo de creatina inmediatamente después del entrenamiento producía mejores resultados en el aumento de la masa libre de grasa, la disminución de la masa grasa y la mejora de 1-RM (una repetición máxima, o máximo peso que se es capaz de levantar una única vez) en el ejercicio de prensa de banca.

Comercialmente, el compuesto de creatina presente habitualmente en los suplementos deportivos y que más se ha estudiado es el MC (6). Generalmente, los suplementos de creatina se presentan en forma de polvo. Aludiendo a su baja solubilidad, se ha estudiado su eficacia en forma de gel o suspensión. Sin embargo, la creatina resulta muy inestable en estas formas, por lo que no se ha mostrado mayor eficacia que con la forma en polvo (6). Ya en 2002, Harris y cols. (18) determinaron que el pico de concentración plasmática de creatina alcanzado era menor con la administración de suspensiones o pastillas que si se tomaba en forma de solución. También han aparecido en el mercado formas tamponadas de creatina, defendiendo una mayor estabilidad y biodisponibilidad. Sin embargo, Jagim y cols. (19) concluyeron que estas formas no mejoraban los valores de concentración de creatina muscular, composición corporal, fuerza y capacidad anaeróbica, respecto a la forma tradicional.

En general, y aunque se ha visto que el consumo de creatina simplemente con agua provoca un pico plasmático de esta sustancia (18), se recomienda tomar el MC acompañado de alimentos ricos en hidratos de carbono y proteínas, observándose una mayor retención de creatina en el músculo (6). Esto parece explicarse porque el transporte de esta sustancia está mediado por la insulina. Ya en 1998, Steenge y cols. (20) demostraron que la infusión de esta hormona aumentaba la acumulación de creatina en el músculo. El transporte de creatina al músculo esquelético está mediado por una proteína transportadora. Este transporte es saturable, dependiente de sodio, y se produce contra gradiente de concentración. Parece ser que la insulina es capaz de aumentar la actividad de la bomba sodio/potasio, facilitando ese transporte.

Finalmente, existen laboratorios que comercializan suplementos de MC con el Certificado de Calidad y Pureza necesario para garantizar que están libres de sustancias dopantes, como son Infisport y GSN, que lo disponen en forma de polvo.

## Efectos adversos

En general, parece que el consumo de creatina en las dosis establecidas es seguro (3). El efecto adverso más común son los calambres musculares (3). Se ha visto que estos calambres pueden estar provocados por la deshidratación o por la alteración del balance hídrico provocado por esta sustancia, y pueden solucionarse simplemente bebiendo más agua.

Por otro lado, muy frecuentemente se ha pensado que la creatina puede empeorar la función renal, ya que al aumentar su consumo aumentan los niveles de creatinina excretada en orina. Al ser la creatinina un indicador de la función renal, puede pensarse que la creatina empeora esta función, pero estudios que analizaron su consumo durante 5 años no han encontrado esa relación (4). Además, algunos estudios refieren problemas gastrointestinales (3,4). Sin embargo, parece que esos problemas se resuelven disolviendo bien el suplemento, o tomándolo con el estómago lleno (4).

El efecto de la creatina incrementando la masa libre de grasa puede ser contraproducente en deportes en los que la velocidad o la flexibilidad son un factor importante (3). Por ejemplo, un estudio llevado a cabo por Sculthorpe y cols. (21) observó que la suplementación con creatina disminuía el rango de movimiento en la extensión y abducción del hombro, y en la dorsiflexión. Parece que al aumentar la cantidad de agua en el músculo se produce una mayor rigidez. Además, el aumento del volumen celular puede afectar al flujo nervioso, provocando que el reflejo miotáctico se desarrolle antes y con ello la contracción del músculo antagonista, oponiéndose a la extensión del músculo.

## $\beta$ -HIDROXI- $\beta$ -METILBUTIRATO

El  $\beta$ -hidroxi- $\beta$ -metilbutirato (HMB) es un compuesto producido a partir del aminoácido leucina, que encontramos en productos de origen animal, como carnes, pescados, lácteos y huevos. La leucina primero se transforma en  $\alpha$ -ceto-isocaproato (KIC), que se dirige por un lado al citosol, donde se transforma en HMB, y por otro a la mitocondria, donde sigue otra vía metabólica. Así, solo un 5% de la leucina inicial llega a transformarse en HMB (22). Esto justifica la idea de suplementarlo, ya que para conseguir 3 g de HMB, dosis diaria recomendada, necesitaríamos consumir 600 g de proteínas de alta calidad (aproximadamente unos 3 kg de pollo), algo que resulta impracticable (22).

## Mecanismo de acción

El HMB parece estar relacionado con la regulación proteica del músculo esquelético. De hecho, es capaz de influir tanto en los procesos de síntesis como en los de degradación proteica, muy importantes en deportistas que realizan ejercicio de alta intensidad y que pueden llegar a sufrir procesos catabólicos.

Respecto a los procesos de síntesis, parece que el HMB:

- Aumenta la activación de la diana de rapamicina en células de mamífero (mTOR) (23), un marcador de síntesis proteica que interviene en el proceso de transducción.

- Estimula la hormona de crecimiento (GH) y la IGF-1 (24), ambas implicadas en la síntesis proteica. Además, la GH es una hormona lipolítica, lo que explicaría también su efecto en la composición corporal de los atletas.
- Aumenta los niveles de expresión del mRNA del factor D de regulación miogénica (MyoD), un marcador de proliferación celular, y la expresión de un marcador de diferenciación celular, el factor 2 potenciador de miogenina y miocitos (MEF2). Esto sugiere que el HMB es capaz de aumentar la proliferación y diferenciación de los mioblastos, células precursoras de las fibras musculares (22).

Por otro lado, atenúa la degradación proteica:

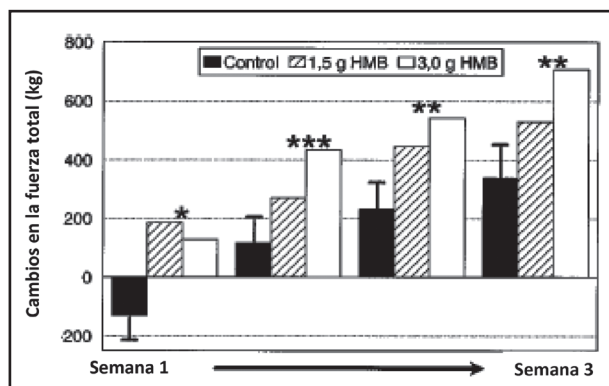
- Inhibe la vía ubiquitina-proteosómica, relacionada con la proteólisis. En ratas sometidas a una situación de catabolismo, se observó que en aquellas que no consumían HMB se activaba la vía ubiquitina-proteosómica, con un incremento en la expresión de atrogina-1, marcador de destrucción proteica. Sin embargo, en las que consumieron HMB, los niveles de atrogina-1 eran menores (25).
- Reduce la respuesta inflamatoria asociada al ejercicio físico. En 2013, Townsend y cols. (26) observaron que la suplementación con HMB atenúa la elevación de los niveles de TNF- $\alpha$ , que interviene en el proceso inflamatorio, reduciendo al mismo tiempo los niveles de expresión de su receptor, el TNFR-1.

Por último, se han propuesto también algunos mecanismos que podrían intervenir en la mejora del rendimiento aeróbico, aumentando la actividad de la adenosina monofosfato quinasa (AMPK), el transcriptor regulador de información silenciosa (Sirt 1) y Sirt 3 en los adipocitos y en las células del músculo esquelético (22). Ambas aumentan la génesis mitocondrial, la oxidación de grasas, el metabolismo energético y el sistema de defensa contra especies reactivas de oxígeno, aunque estos mecanismos son todavía poco conocidos.

## Efecto en el rendimiento deportivo

El efecto ergogénico principal del HMB es el incremento de la fuerza muscular (Fig. 2), que acompaña a un aumento de la masa magra y la masa libre de grasa tras un programa de entrenamiento de fuerza (25,27,28). También se observa una disminución del porcentaje de grasa (25) y un aumento de la masa corporal (28). Este efecto sobre la composición corporal se aprecia únicamente en presencia de un entrenamiento de fuerza (22,29).

Por otro lado, se ha sugerido que el HMB puede acelerar la recuperación tras el ejercicio de fuerza, ya que atenúa el aumento de las enzimas creatina quinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LDH), y 3-metilhistidina (27,28,30), marcadores de daño muscular, lo que mejora el estado de recuperación percibido por el deportista (28,30). Otros autores han observado un menor daño muscular con periodos prolongados de suplementación con HMB. En 2013, Wilson y cols. (22) recomendaron tomarlo durante las dos semanas previas a un evento importante o a un cambio en la carga de entrenamiento. Por su parte, Portal y cols. (31) observaron, con jugadores de voleibol suplementados durante 7 semanas, un



**Figura 2.**

Cambios en la fuerza total (kg) a lo largo del tiempo, en función de la cantidad de HMB consumida (27).

aumento de la masa muscular y de la fuerza al lanzar el balón, y una disminución del porcentaje de grasa. Sin embargo, no mejoró la capacidad aeróbica de los jugadores ni su capacidad de salto. En ese sentido, los resultados sobre el efecto del HMB en el rendimiento aeróbico son muy dispares, aunque parece que sí hay una mejora de la capacidad aeróbica, siempre y cuando el período de suplementación incluya un entrenamiento de resistencia aeróbica, al que se añade intervalos de alta intensidad (32). Por ejemplo, recientemente Durkalec-Michalski y cols. (33) analizaron el efecto de 12 semanas de suplementación con HMB en remeros de élite, observando un aumento de su consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) y de su umbral anaeróbico. El entrenamiento de los deportistas de remo incluía resistencia aeróbica, además de sesiones de fuerza.

## Dosis

Parece que la dosis de HMB adecuada es de 3 g/día, distribuida en 3 tomas (27,28,30,34): una dosis antes del entrenamiento y las otras dos en dos de las comidas principales. Esta recomendación se basa en el menor aumento de los niveles de CK y LDH si se ingiere antes del entrenamiento (34). Debido a que el tiempo que tarda en alcanzarse el pico de HMB en sangre es diferente con la sal de calcio (HMB-Ca) que con la forma libre (HMB-FA), se recomienda que la dosis previa al entrenamiento sea 1 hora antes en el caso del HMB-Ca y 30 minutos antes en el caso del HMB-FA (22). Efectivamente, se ha visto que la sal tarda 1-2 horas en alcanzar el pico máximo de concentración, mientras que la forma libre lo hace en 36 minutos, presentando además una mejor biodisponibilidad (22). Además, la forma libre presenta un aclaramiento un 25% superior a la sal, sugiriendo así un mayor aprovechamiento por parte de los tejidos (22). Por estas razones, parece que el HMB-FA puede llegar a sustituir al HMB-Ca.

Comercialmente se presenta generalmente en forma de comprimidos o cápsulas y existen presentaciones que poseen el Certificado de Calidad y Pureza, como las de los laboratorios Maxinutrition y Etix NV (35).

## Efectos adversos

Hasta el momento no se han observado reacciones adversas con la ingesta de HMB (22). Sí hay que tener en cuenta que el posible aumento de peso al consumir esta sustancia puede ser una desventaja en determinados deportes. Por último, Pinheiro y cols. (36) sugirieron en 2012 una relación entre el consumo de HMB y la disminución de la sensibilidad a la insulina, al observar un aumento en los niveles de esta hormona tras un mes de suplementación. Este estudio se llevó a cabo en ratas, por lo que serían necesarios análisis en humanos que confirmaran estos resultados.

## BICARBONATO SÓDICO (BS)

El ión bicarbonato se encuentra en nuestro organismo formando parte del sistema tampón más importante de nuestros fluidos biológicos, normalmente presente como BS. En presencia de un ácido fuerte, el bicarbonato actúa como una base débil y capta los protones ( $H^+$ ) del ácido, transformándose en ácido carbónico, y elevando el pH. Este ácido carbónico puede disociarse en bicarbonato y  $H^+$ , en el caso de que se necesite una acidificación del medio, o puede convertirse en  $CO_2$  y agua. Estas reacciones son reversibles, y dependen del pH del organismo (3).

Tras su absorción gastrointestinal, el bicarbonato tiene una acción rápida. El pico de concentración en sangre se alcanza en torno a los 60 minutos, manteniéndose durante 4 horas. Su eliminación se realiza por vía renal (3).

Así como otros suplementos pueden encontrarse de forma natural en algunos alimentos, no ocurre esto con el bicarbonato, lo que justifica su aporte exógeno.

## Mecanismo de acción

La realización de un ejercicio físico de alta intensidad implica una utilización de la vía anaeróbica láctica para obtener energía, con la consiguiente producción de lactato, que disminuye el pH en el músculo. Esta acidificación es responsable de la fatiga muscular, al inhibir la fosfofructoquinasa (PFK), enzima clave en la glucólisis anaeróbica, disminuyendo al mismo tiempo la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico y su capacidad de fijación a receptores. El BS puede mejorar el rendimiento físico:

- Por su función tampón, con lo que es capaz de elevar el pH, produciéndose una menor inhibición de la vía anaeróbica láctica (3,37,38). Sin embargo, la membrana celular es impermeable al ión bicarbonato, por lo que este suplemento solo es capaz de neutralizar el pH a nivel extracelular. Parece mejorar el flujo de  $H^+$  desde el músculo hacia la sangre, evitando una mayor disminución del pH muscular (3).
- Disminuyendo la fatiga muscular al incrementar la actividad de la  $Na^+-K^+-ATPasa$ , facilitando el intercambio de  $Na^+$  y  $H^+$  a través de la membrana celular y haciendo que se mantenga constante la excitabilidad de esta membrana (39).

## Efecto en el rendimiento deportivo

Se ha publicado que una dosis única de BS antes de realizar un *sprint* de 1 minuto mejora el rendimiento en un 2% (38). Además, parece lógico pensar que si el BS influye en la vía anaeróbica láctica, pueda ser efectivo en pruebas de media distancia y alta intensidad. Así, ha demostrado mejoras en el rendimiento en 400, 800 y 1.500 m lisos en atletismo (37). Por otro lado, se han observado resultados positivos en *sprints* repetidos de 6-10 segundos, con un tiempo de recuperación de 30-50 segundos (3). Uno de estos estudios medía la potencia empleada en cada uno de los 5 *sprints* en que consistía la prueba, mostrando mejoras significativas en los 3 últimos *sprints*. Sin embargo, parece que estas mejoras desaparecen cuando el tiempo total de la prueba alcanza los 10 minutos (38).

En deportes de equipo que requieren realizar *sprints* de forma intermitente los resultados también son positivos. Se ha observado que mejora el rendimiento en *sprints* de 4 segundos, seguidos de 100 segundos de recuperación en activo y 20 segundos de descanso (3).

## Dosis

La dosis óptima para la mejora del rendimiento parece ser de 0,3 g/kg (3,37,38). Una vez establecida la dosis, el estudio sobre la posología del bicarbonato ha ido encaminado a disminuir las molestias gastrointestinales asociadas a este suplemento. Estas molestias se podrían reducir significativamente cuando:

- El bicarbonato se acompaña de una comida rica en hidratos de carbono y 7 ml/kg de agua (37).
- Se ingiere 180 minutos antes del evento deportivo (40).
- Se consumen dosis más bajas de BS, 5 días antes de la competición (3).

La comercialización de este suplemento se realiza en farmacias, por su uso también como antiácido.

## Efectos adversos

El principal problema que presenta el consumo de BS es el desarrollo de síntomas gastrointestinales (3,37,38,40,41) como hinchazón de estómago, náuseas o diarrea. Es importante tener en cuenta que estos problemas pueden influir en el estado físico y mental del deportista en los momentos previos a una competición.

Por otro lado, debido a que un 27% de la molécula de BS es sodio, se podría pensar que un consumo habitual pueda provocar un aumento de la presión arterial. No obstante, un estudio de Kahle y cols. (41) no encontró ninguna relación, aunque se llevó a cabo en jóvenes, menos sensibles a la ingesta de sal.

## β-ALANINA

La β-alanina es un aminoácido presente en la carnosina, un dipéptido de nuestro organismo que funciona como regulador

del pH a nivel intramiocelular. El efecto tampón de la carnosina supone un 8-15 % de la regulación del pH en el músculo (42). La β-alanina es un precursor limitante de la síntesis de carnosina, ya que la carnosina sintetasa tiene una menor afinidad por este aminoácido que por la histidina, el otro aminoácido que la compone, que además está en mayor concentración en el organismo (43). Esto justifica que se estudie si la suplementación con β-alanina puede mejorar los niveles de carnosina y, con ello, el control de la acidosis inducida por el ejercicio. De hecho, algunos estudios han observado que esta suplementación puede incrementar hasta un 40-80% los niveles de carnosina (44-46), aunque la variabilidad interindividual es muy grande, y depende de la absorción de cada individuo, del peso, o de su masa magra, siendo la retención mayor a mayor masa muscular (42). Resulta intrigante que solo un 2,5 % de la β-alanina contribuya a la producción de carnosina, eliminándose un 1-2 % de la ingesta en orina, por lo que no se sabe qué ocurre con aproximadamente el 95 % de la β-alanina consumida (47).

## Mecanismo de acción

Debido a que la carnosina es el componente que realmente tiene un efecto sobre el rendimiento físico, nos referiremos a los mecanismos de acción de este dipéptido. Así, se ha demostrado que la carnosina reduce la fatiga muscular:

- Regula el pH intracelular. Debido a su adecuado pKa de 6,83, en una situación de acidosis inducida por la contracción muscular, es capaz de captar H<sup>+</sup>. De hecho, existen mayores concentraciones de carnosina en las fibras musculares de tipo II, con un mayor desarrollo en la vía anaeróbica láctica (43).
- Aumenta la sensibilidad de las fibras musculares de tipo I y II al calcio (Ca), al activar los canales de Ca, incrementando la liberación del mismo desde el retículo sarcoplásmico hacia el citosol durante la contracción muscular (43,47).
- Actúa como intercambiador de iones Ca<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>.
- Compiten por la unión a proteínas. Esto explicaría la mayor capacidad de contracción de las fibras musculares y el efecto tampón de la carnosina (47).
- Por su posible efecto antioxidante, al interferir en las reacciones de peroxidación, protegiendo a las membranas celulares (43), lo que mejoraría la contractilidad muscular, la producción de energía y el desarrollo de fatiga.

## Efecto en el rendimiento deportivo

Hasta el momento, las conclusiones tras el uso de la β-alanina son muy variadas debido a que los estudios han sido muy dispares, utilizando test muy diferentes (48-57). En general, en ejercicios repetidos de alta intensidad se observa una mejora del trabajo total y de la potencia media (53) o de la marca conseguida en la prueba (54,55). Como indicaban De Salles Painelli y cols. (53) esto puede deberse a que el ejercicio intermitente de alta

intensidad provoca una mayor acidosis. Además, se ha observado que si los periodos de recuperación entre *sprints* son más cortos (menores de 30 segundos), el efecto de la suplementación es significativamente mayor, por una mayor acumulación de  $H^{+43}$ , que si los periodos de recuperación duran varios minutos (56). Sin embargo, parece que no se encuentran resultados positivos en test realizados con un ejercicio continuo llevados hasta el agotamiento (44,50), o de larga duración (57).

Debido al efecto beneficioso que ambos suplementos parecen tener en ejercicios de alta intensidad, se ha analizado si el consumo conjunto de  $\beta$ -alanina y creatina puede aportar una mejora adicional. Hoffman y cols. (58) observaron en un primer momento que estos dos suplementos consumidos conjuntamente (3,2 g/día de  $\beta$ -alanina y 10,5 g/día de creatina, durante 10 semanas) mejoraban la fatiga, el volumen de entrenamiento soportado y reducían la grasa corporal de forma más eficaz que si se consumía únicamente creatina. Zoeller y cols. (59) también concluyeron que conjuntamente se producía una mejora mayor de la capacidad aeróbica que consumiendo cada suplemento por separado. Sin embargo, no está claro todavía si el efecto beneficioso de esta co-suplementación es independiente o aditivo (59-61).

## Dosis

La dosis más eficaz es de 4,8-6,4 g/día (en torno a 80 mg/kg/día), distribuidas en 4 tomas (47). Aunque se ha observado una relación lineal entre la ingesta de  $\beta$ -alanina y la concentración de carnosina en sangre (43), la dosificación de este suplemento ha estado limitada por los síntomas de parestesia derivados de su ingesta. La  $\beta$ -alanina se comercializa en dosis de 800 mg, y parece que dosis mayores en cada toma aumentan considerablemente la probabilidad de producir estos síntomas (43,47). Por ello se tiende a dividir la dosis diaria en varias tomas, pero para llegar a este rango más eficaz de 4,8-6,4 g/día la dosis por toma tiende a ser mayor de 800 mg, por lo que no se consiguen eliminar por completo los síntomas.

En general, parece que la  $\beta$ -alanina puede ser efectiva tras una suplementación crónica de unas 4-10 semanas (43,47). Al estudiar esta dosis crónica, se ha analizado el periodo de lavado de este suplemento, con el objetivo de establecer una dosis de mantenimiento. Se ha estimado que este puede variar entre 6 y 20 semanas (43). Así, Stegen y cols. (45) concluyeron que dosis de 1,2 g/día servían para mantener los niveles de carnosina elevados un 30-50% sobre los valores normales, una vez hayan pasado las 4-10 semanas iniciales de suplementación a dosis más altas.

Por último, otro estudio de Stegen y cols. (46) que acompañaba este suplemento con hidratos de carbono y proteínas observó un aumento significativamente mayor de los niveles de carnosina en el sóleo. Este músculo es el más sensible a la insulina, por lo que se sugirió una relación entre esta hormona y la carga de carnosina muscular.

Existen productos comercializados con este suplemento que presentan el Certificado de Calidad y Pureza, generalmente presentados en forma de polvo, como los de My Protein o los de Maxinutrition (35).

## Efectos adversos

La parestesia es el principal efecto adverso observado con la suplementación de  $\beta$ -alanina. Es difícil establecer por qué aparecen los síntomas ya que, utilizando una pauta similar, hay estudios que no encuentran problemas (54,55), y otros que los observan entre moderados y severos (43,49,56). Parece que los síntomas son mediados por el aumento de la expresión del miembro D del receptor acoplado a proteína G relacionado con el gen Mas (MrgprD) en neuronas sensitivas cutáneas, una proteína G que actúa como receptor de la información nociceptiva. Se ha analizado si una dosis de 1.600 mg de  $\beta$ -alanina de liberación prolongada reduce los efectos adversos respecto a la misma cantidad de  $\beta$ -alanina pura, sin observar mejorías (43). En definitiva, es necesario estudiar si estos síntomas de parestesia pueden influir en el rendimiento del deportista o no, para valorar el equilibrio beneficio/riesgo de esta suplementación.

## CAFEÍNA

La cafeína es una xantina que se encuentra en productos como el café, té, chocolate o guaraná, y que se añade también a algunas bebidas energéticas, suplementos dietéticos y medicamentos (3,62). Su consumo puede alcanzar en los países más desarrollados hasta una media de 230 mg/día (63), y es probablemente la sustancia más investigada en cuanto a su efecto sobre el rendimiento físico. En relación con su farmacocinética, se sabe que se absorbe prácticamente el 100% de la cafeína administrada por vía oral, apareciendo en sangre a los 5 minutos de su ingesta. El pico de concentración sanguínea se alcanza a los 40-60 minutos, y su semivida plasmática ronda las 3-10 horas (3). Se metaboliza en el hígado a través del citocromo CYP1A2, transformándose en paraxantina, teobromina y teofilina. La actividad de esta enzima depende de varios factores como el sexo, la edad o el hábito tabáquico, que influirán en el mayor o menor efecto de esta sustancia en cada persona (63,64). Por último, la cafeína y sus metabolitos se excretan por vía renal (4).

Se puede pensar que dada la presencia de cafeína en alimentos en concentraciones considerables, el consumo de estos podría ser suficiente para conseguir un efecto ergogénico. Sin embargo, se sabe que estos alimentos pueden contener otras sustancias con un efecto antagónico y, por esta razón, se defiende que el consumo de preparados con cafeína es más eficaz, además de permitir un mayor control de la dosis (4).

## Mecanismo de acción

A esta sustancia se le atribuyen múltiples mecanismos de acción para mejorar el rendimiento (3):

- Antagoniza los receptores de adenosina (3,4), que se encuentran en el cerebro, el músculo esquelético y el tejido adiposo. La adenosina es un inhibidor del sistema nervioso central (SNC) y de la actividad neuronal e interviene en la síntesis de ATP de emergencia. Se ha observado que el bloqueo



de los receptores de adenosina en los adipocitos provoca un aumento de la lipólisis y, por tanto, un incremento de la concentración de ácidos grasos libres en sangre. Esto conllevará un ahorro de glucógeno intramuscular (4). Por otro lado, en el cerebro, la cafeína tiene un efecto estimulante del SNC y es capaz de activar la transmisión sináptica y la liberación de neurotransmisores. Esto mejora la propagación de las señales nerviosas, lo que parece mejorar la fuerza y la percepción del esfuerzo del deportista (3).

- Potencia la liberación de calcio desde el retículo sarcoplásmico, con el consiguiente incremento de la contracción muscular (4).
- Estimula la actividad de la Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPasa (4) y reduce la fatiga muscular.

**Efecto en el rendimiento deportivo**

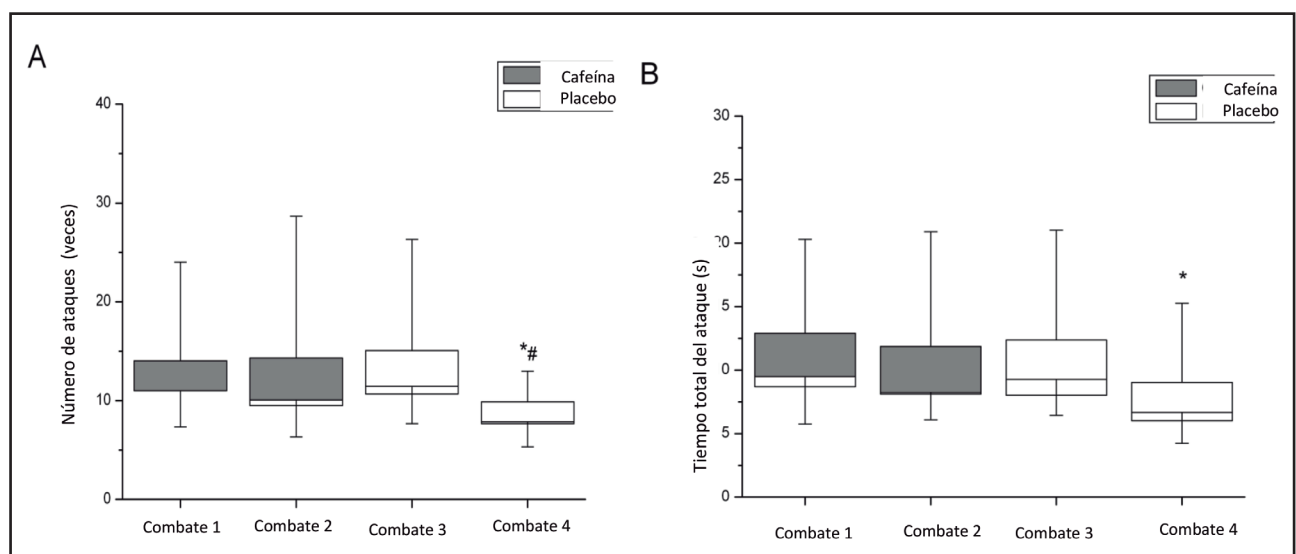
El efecto más respaldado científicamente es la mejora de la resistencia aeróbica (3,4,36,63). Esta mejora se ha demostrado en multitud de deportes aeróbicos como ciclismo, atletismo, remo o esquí de fondo (4). En estos deportes, la cafeína es capaz de aumentar el trabajo total realizado, incrementando el tiempo hasta el agotamiento y disminuyendo el tiempo empleado para realizar un test de resistencia aeróbica (4). 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 (37). Además, un estudio reciente de Rosales y cols. (65), observó mejoras en la velocidad aeróbica máxima y en el umbral anaeróbico alcanzado en una prueba hasta el agotamiento en cinta rodante, administrando 3 mg/kg de cafeína, 30 minutos antes de la prueba.

Por otro lado, se ha estudiado el efecto de la cafeína en deportes predominantemente anaeróbicos. Parece que este alcaloide no es eficaz en *sprints* repetidos, pero sí en *sprints* intermitentes (3), lo que podría estar relacionado con un menor tiempo de reacción para comenzar el *sprint*. Esto podría ser una ventaja en deportes de equipo, donde además, se ha observado una mayor precisión en los pases realizados en fútbol o rugby, que se ha atribuido a una disminución de la fatiga que influye en jugadas que requieren una destreza especial (62,66). En hockey hierba, se observaron mejoras en el manejo de la bola y en los *sprints* para regatear (62). Sin embargo, en general estos trabajos analizaron estos aspectos después de someter a los deportistas a un ejercicio que inducía la fatiga. Por ello, se piensa que la cafeína parece ser más efectiva en situaciones de máxima fatiga física y mental (62).

En deportes individuales también se han observado resultados positivos. Por ejemplo, una mayor velocidad de la bola en el servicio en tenis (62), o un menor tiempo de reacción en combates de taekwondo (Fig. 3), además de una atenuación de la disminución de la intensidad del ejercicio realizado entre el primer y el segundo combate (67).

Algunos estudios han analizado el efecto analgésico de la cafeína y defienden que en pruebas largas donde los deportistas sufren molestias importantes puede ayudar a atenuarlas, sin descartar un posible efecto placebo (68). En este sentido, un reciente estudio de Gonglach y cols. ha concluido que, solo si las molestias son moderadas, la cafeína puede mejorar el rendimiento atenuando estos síntomas, no así en situaciones de fuertes molestias (69).

Por último, siendo el MC y la cafeína los dos suplementos con mayor evidencia científica que respalde su eficacia, se ha analizado en algunos estudios el efecto en el rendimiento al consumirlos conjuntamente. En concreto, parece que el consumo de una dosis de cafeína de 5-6 mg/kg previa a un ejercicio de alta intensidad y corta duración, tras un periodo de suplementación con creatina



**Figura 3.**

Gráfico de caja y bigotes del número de ataques (A) y el tiempo total del ataque (B) durante el primer y segundo combate de taekwondo tras una suplementación con cafeína o placebo (67).

(0,3 g/kg/día durante 5-6 días), mejora el rendimiento y no anula el efecto ergogénico de la creatina (70,71). Sin embargo, todavía no hay estudios que hayan observado un efecto sinérgico al consumir ambos suplementos (72).

## Dosis

Se ha sugerido que una buena pauta de suplementación podría ser administrar una dosis de 3-6 mg/kg (3), 1 hora antes del ejercicio, y una dosis de 0,75-2 mg/kg durante la realización de este cada 20 minutos aproximadamente (4). Además de este efecto en la resistencia aeróbica, pequeñas dosis de cafeína (2 mg/kg) pueden también beneficiar el tiempo de reacción y el procesamiento de la información visual que son muy importantes, por ejemplo, para un portero (73) (Fig. 4). Hablamos pues de un efecto agudo de la cafeína. Además, se ha visto que dosis mayores a 6 mg/kg aumentan la probabilidad de sufrir sus efectos adversos (3). Sin embargo, es necesario recordar que el efecto de una misma cantidad de cafeína puede ser muy diferente en cada individuo. Depende del grado de habituación a esta sustancia y de la actividad del CYP1A2 (64).

Por último, con el objeto de optimizar su eficacia como ayuda ergogénica, esta sustancia también se presenta en formas diferentes a las tradicionales, como en chicle, que parece acelerar su absorción. Además, se la ha combinado con otros nutrientes, como los carbohidratos, sin obtener, por el momento, resultados concluyentes (66).

Un ejemplo de suplemento de cafeína con el Certificado de Calidad y Pureza son los geles de hidratos de carbono y cafeína de la marca Etixx NV® (35).

## Efectos adversos

Aunque ingestas moderadas de cafeína pueden considerarse seguras, dosis más altas están asociadas a un incremento de la

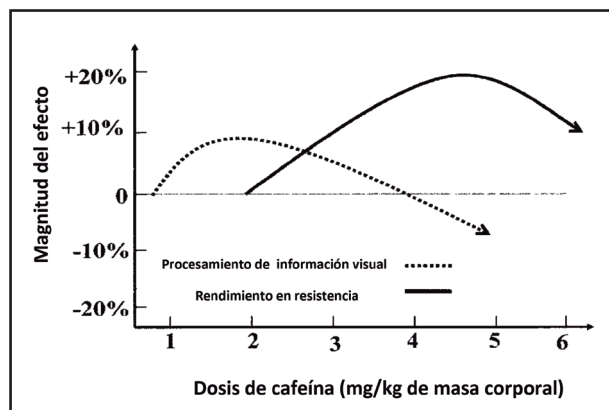


Figura 4.

La cafeína afecta tanto al procesamiento de la información visual (reflejos) como a la resistencia aeróbica (73).

frecuencia cardiaca y de la presión arterial (3), insomnio (3,4), temblores, dolor de cabeza, ansiedad, dependencia (3,4,62), o problemas gastrointestinales (3). Estos síntomas pueden tener un efecto ergolítico. En relación con el potencial efecto cancerígeno de la cafeína, la mayoría de estudios no han encontrado asociación entre un consumo habitual de cafeína (aproximadamente tres cafés al día) y el desarrollo de cáncer. Aun así, cabe puntualizar que el café o el té, tienen otros componentes potencialmente anticancerígenos que podrían neutralizar este efecto (4). Por último, frecuentemente se recuerda que la cafeína tiene un efecto diurético que puede resultar negativo en el deporte, donde el estado de hidratación es clave para un buen rendimiento físico. Un reciente metaanálisis publicado por Zhang y cols. (74) ha concluido que el efecto diurético de la cafeína es 6 veces mayor en mujeres que en hombres, y esto se debe a que las mujeres presentan una menor actividad del CYP1A2, por lo que metabolizan la cafeína más lentamente y el efecto diurético se alarga más en el tiempo. Sin embargo, los estudios llevados a cabo con deportistas no han observado síntomas de deshidratación, incluso en pruebas de resistencia aeróbica (3,4,74). Una posible explicación puede ser que el ejercicio en sí mismo tiene un efecto antidiurético, a través de una activación simpático-adrenal (74) que produce una constricción de las arteriolas renales disminuyendo la tasa de filtración glomerular.

## DISCUSIÓN

Los suplementos nutricionales analizados en esta revisión presentan en general una demostrada eficacia en el rendimiento físico. No obstante, en la gran mayoría de los artículos publicados los deportistas que se someten a estudio son de nivel recreativo, por la dificultad que supone comprometer a deportistas de alto nivel con proyectos de investigación en los que se quiere analizar el posible efecto ergogénico de una determinada sustancia. En los estudios en los que participan deportistas de élite, los resultados positivos sobre el rendimiento físico son porcentualmente inferiores a los observados en deportistas de nivel recreativo. No obstante, por ejemplo, en atletismo, los resultados de la prueba de 100 m en los Juegos Olímpicos de 1996, 2000 y 2004 indican que el tiempo del octavo clasificado fue solo un 3% peor que la marca del medallista de oro. Esa cifra, aparentemente insignificante, es lo que separa muchas veces al último clasificado del triunfo, del reconocimiento público y de los contratos millonarios.

Debemos destacar que, a pesar de la evidencia científica que respalda el uso de estos suplementos, estos por sí solos no van a convertir a un deportista recreativo en uno de élite. Es importante concienciar, especialmente a las jóvenes promesas, todavía en proceso de crecimiento y desarrollo corporal, que en primer lugar y como aspecto más importante, deben optimizar su estado de entrenamiento y su alimentación. Una vez adaptada la alimentación a la carga de entrenamientos y competiciones, los suplementos nutricionales pueden aportar una ayuda extra para aguantar mejor el plan de entrenamiento y para mejorar la marca en competición.

Por otro lado, los deportistas deberían ser conscientes de que los suplementos no deben consumirse de forma habitual, sino en determinados momentos de la temporada donde se persiga un objetivo específico importante. Pueden ser necesarios en épocas de preparación de una competición relevante, donde se incrementa la carga de entrenamientos; o si se persigue un cambio en la composición corporal que ya no se puede alcanzar con la alimentación, como la ganancia de masa muscular; o durante la competición para mejorar la marca en pruebas concretas. En este último caso también hay que insistir en que los deportistas deberían probar estos suplementos antes de una competición importante, durante una competición preparatoria o durante una sesión de entrenamiento. Algunos deportistas no responden o no toleran bien algunos suplementos.

Por último, conviene destacar la importancia de asegurarse de que los suplementos nutricionales que se van a consumir tienen un Certificado de Calidad y Pureza, tanto si se es deportista de élite como de nivel recreativo. En primer lugar, por razones de salud, porque los suplementos contaminados pueden contener sustancias perjudiciales, como los esteroides anabolizantes. Y, en segundo lugar, refiriéndonos a deportistas de élite, porque un positivo en un control antidopaje puede arruinar para siempre su carrera deportiva.

## CONCLUSIONES

Aunque las cinco sustancias analizadas parecen tener una base científica suficiente que respalda su efecto ergogénico, en la mayoría todavía es necesario confirmar los mecanismos de acción, lo que también permitirá optimizar mejor su utilización. Es necesario afinar las dosis para que resulten más eficaces, cómo distribuirlas, en qué forma farmacéutica son más efectivas, con qué acompañar su ingesta, cómo evitar los efectos adversos y en qué disciplinas y momentos de la temporada pueden ser más útiles. Se necesita además llevar a cabo estudios estandarizados y controlados con deportistas de élite, donde se incluyan grupos placebo, idealmente de doble ciego, o estudios cruzados, para poder concluir si son lo suficientemente eficaces como para marcar la diferencia en el mundo del alto rendimiento deportivo.

Por último, la finalidad de este trabajo es que la información recogida sea de utilidad a la hora de recomendar estos suplementos nutricionales a deportistas de élite. Por ello, en la tabla I se han querido resumir los aspectos más destacables para que sirva de guía de suplementación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Burke L, Deakin V. *Clinical Sports Nutrition*. 1.ª ed. Sydney: McGraw-Hill; 2006. p. 485-580.
- PubMed [base de datos en Internet]. Bethesda: National Library of Medicine; 1966-. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?otool=iesunavplib>
- Bishop D. Dietary supplements and team-sport performance. *Sports Med* 2010;40(12):995-1017.
- Tarnopolsky MA. Caffeine and creatine use in sport. *Ann Nutr Metab* 2010;57(2):1-8.
- Williams MH, Kreider RB, Branch JD. Creatine: the power supplement. Champaign: Human Kinetics; 1999.
- Jäger R, Purpura M, Shao A, et al. Analysis of the efficacy, safety and regulatory status of novel forms of creatine. *Amino Acids* 2011;40:1369-83.
- Hickner RC, Dyck DJ, Sklar J, et al. Effect of 28 days of creatine ingestion on muscle metabolism and performance of a simulated cycling road race. *J Int Soc Sports Nutr* 2010;7:26.
- Oliver JM, Jagim AR, Pischel I, et al. Effects of short-term ingestion of Russian Tarragon prior to creatine monohydrate supplementation on whole body and muscle creatine retention and anaerobic sprint capacity: a preliminary investigation. *J Int Soc Sports Nutr* 2014;11(1):6.
- Safdar A, Yardley NJ, Snow R, et al. Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiol Genomics* 2008;32(2):219-28.
- Robinson TM, Sewell DA, Hultman E, et al. Role of submaximal exercise in promoting creatine and glycogen accumulation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1999;87(2):598-604.
- Antonio J, Ciccone V. The effects of pre versus post workout supplementation of creatine monohydrate on body composition and strength. *J Int Soc Sports Nutr* 2013;10:36.
- Helms ER, Aragon AA, Fitschen PJ. Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: nutrition and supplementation. *J Int Soc Sports Nutr* 2014;11:20.
- Percário S, Domingues SP, Teixeira LF, et al. Effects of creatine supplementation on oxidative stress profile of athletes. *J Int Soc Sports Nutr* 2012;9(1):56.
- Claudino GJ, Mezêncio B, Amaral S, et al. Creatine monohydrate supplementation on lower-limb muscle power in Brazilian elite soccer players. *J Int Soc Sports Nutr* 2014;11:32.
- Ramírez-Campillo R, González-Jurado JA, Martínez C, et al. Effects of plyometric training and creatine supplementation on maximal-intensity exercise and endurance in female soccer players. *J Sci Med Sport* 2015;19(8):682-7.
- Smith AE, Fukuda DH, Ryan ED, et al. Ergolytic/ergogenic effects of creatine on aerobic power. *Int J Sports Med* 2011;32(12):975-81.
- Noonan D, Berg K, Latin RW, et al. Effects of varying dosages of oral creatine relative to fat free body mass on strength and body composition. *J Strength Cond Res* 1998;12:104-8.
- Harris RC, Nevill M, Harris DB, et al. Absorption of creatine supplied as a drink, in meat or in solid form. *J Sports Sci* 2002;20(2):147-51.
- Jagim AR, Oliver JM, Sánchez A, et al. A buffered form of creatine does not promote greater changes in muscle creatine content, body composition, or training adaptations than creatine monohydrate. *J Int Soc Sports Nutr* 2012;9(1):43.
- Steenge GR, Lambourne J, Casey A, et al. Stimulatory effect of insulin on creatine accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1998;275:974-9.
- Sculthorpe N, Grace F, Jones P, et al. The effect of short-term creatine loading on active range of movement. *Appl Physiol Nutr Metab* 2010;35(4):507-11.
- Wilson JM, Fitschen PJ, Campbell B, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB). *J Int Soc Sports Nutr* 2013;10(1):6.
- Eley HL, Russell ST, Baxter JH, et al. Signaling pathways initiated by beta-hydroxy-beta-methylbutyrate to attenuate the depression of protein synthesis in skeletal muscle in response to cachectic stimuli. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007;293(4):23-31.
- Townsend JR, Hoffman JR, González AM, et al. Effects of  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate free acid ingestion and resistance exercise on the acute endocrine response. *Int J Endocrinol* 2015;2015:7.
- Park BS, Henning PC, Grant SC, et al. HMB attenuates muscle loss during sustained energy deficit induced by calorie restriction and endurance exercise. *Metabolism* 2013;62(12):1718-29.
- Townsend JR, Fragala MS, Jajtner AR, et al.  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB)-free acid attenuates circulating TNF- $\alpha$  and TNFR1 expression post-resistance exercise. *J Appl Physiol* 2013;115:1173-82.
- Nissen S, Sharp R, Ray M, et al. Effect of leucine metabolite  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *J Appl Physiol* 1996;81(5):2095-104.
- Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, et al. The effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Eur J Appl Physiol* 2014;114:1217-27.
- Slater GJ, Jenkins D. Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation and the promotion of muscle growth and strength. *Sports Med* 2000;30(2):105-16.

30. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, et al.  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate free acid reduces markers of exercise-induced muscle damage and improves recovery in resistance-trained men. *Br J Nutr* 2013;110(3):538-44.
31. Portal S, Zadik Z, Rabinowitz J, et al. The effect of HMB supplementation on body composition, fitness, hormonal and inflammatory mediators in elite adolescent volleyball players: a prospective randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2261-69.
32. Albert FJ, Morente-Sánchez J, Ortega FB, et al. Usefulness of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) supplementation in different sports: an update and practical implications. *Nutr Hosp* 2015;32(1):20-33.
33. Durkalec-Michalski K, Jeszka J. The efficacy of a  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate supplementation on physical capacity, body composition and biochemical markers in elite rowers: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. *J Int Soc Sports Nutr* 2015;12:31.
34. Wilson JM, Kim JS, Lee SR, et al. Acute and timing effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on indirect markers of skeletal muscle damage. *Nutr Metab* 2009;6:6.
35. Informed-sport.com. Trusted by sport [sede Web]. 1999 [Actualizada en 2015, acceso el 10 de Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://informed-sport.com/>
36. Pinheiro CH, Gerlinger-Romero F, Guimarães-Ferreira L, et al. Metabolic and functional effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation in skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 2012;112(7):2531-7.
37. Schubert MM, Astorino TA. A systematic review of the efficacy of ergogenic aids for improving running performance. *J Strength Cond Res* 2013;27(6):1699-707.
38. Carr AJ, Hopkins WJ, Gore CJ. Effects of Acute alkalosis and acidosis on performance. *Sports Med* 2011;41(10):801-14.
39. Sostaric SM, Skinner SL, Brown MJ, et al. Alkalosis increases muscle K<sup>+</sup> release, but lowers plasma [K<sup>+</sup>] and delays fatigue during dynamic forearm exercise. *J Physiol* 2006;570:185-205.
40. Siegler JC, Marshall PW, Bray J, et al. Sodium bicarbonate supplementation and ingestion timing: does it matter? *J Strength Cond Res* 2012;26(7):1953-8.
41. Kahle LE, Kelly PV, Eliot KA, et al. Acute sodium bicarbonate loading has negligible effects on resting and exercise blood pressure but causes gastrointestinal distress. *Nutr Res* 2013;33(6):479-86.
42. Baguet A, Kopko K, Pottier A, et al. Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(3):495-503.
43. Bellinger PM.  $\beta$ -Alanine supplementation for athletic performance: an update. *J Strength Cond Res* 2014;28(6):1751-70.
44. Bex T, Chung W, Baguet A, et al. Exercise training and Beta-alanine-induced muscle carnosine loading. *Front Nutr* 2015;2:13.
45. Stegen S, Bex T, Vervaeke C, et al.  $\beta$ -Alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46(7):1426-32.
46. Stegen S, Blancquaert L, Everaert I, et al. Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45(8):1478-85.
47. Blancquaert L, Everaert I, Derave W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2015;18(1):63-70.
48. Saunders B, Sale C, Harris RC, et al. Effect of beta-alanine supplementation on repeated sprint performance during the Loughborough Intermittent Shuttle Test. *Amino Acids* 2012;43(1):39-47.
49. Chung W, Shaw G, Anderson ME, et al. Effect of 10 week beta-alanine supplementation on competition and training performance in elite swimmers. *Nutrients* 2012;4(10):1441-53.
50. Jordan T, Lukaszuk J, Mistic M, et al. Effect of beta-alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *J Int Soc Sports Nutr* 2010;7:20.
51. Smith AE, Moon JR, Kendall KL, et al. The effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on neuromuscular fatigue and muscle function. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:357-63.
52. Walter AA, Smith AE, Kendall KL, et al. Six weeks of high-intensity interval training with and without beta-alanine supplementation for improving cardiovascular fitness in women. *J Strength Cond Res* 2010;24(5):1199-207.
53. De Salles Painelli V, Saunders B, Sale C, et al. Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to b-alanine supplementation. *Amino Acids* 2014;46:1207-15.
54. Saunders B, Sunderland C, Harris RC, et al.  $\beta$ -alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *J Int Soc Sports Nutr* 2012;9(1):39.
55. Carpentier A, Olbrechts N, Vieillevoys S, et al.  $\beta$ -Alanine supplementation slightly enhances repeated plyometric performance after high-intensity training in humans. *Amino Acids* 2015;47(7):1479-83.
56. Smith-Ryan AE, Fukuda DH, Stout JR, et al. High-velocity intermittent running: effects of beta-alanine supplementation. *J Strength Cond Res* 2012;26(10):2798-805.
57. Bellinger PM, Minahan CL. The effect of  $\beta$ -alanine supplementation on cycling time trials of different length. *Eur J Sport Sci* 2015;11:1-8.
58. Hoffman J, Ratamess N, Kang J, et al. Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006;16(4):430-46.
59. Zoeller RF, Stout JR, O'kroy JA, et al. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids* 2007;33(3):505-10.
60. Stout JR, Cramer JT, Mielke M, et al. Effects of twenty eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *J Strength Cond Res* 2006;20(4):928-31.
61. Kresta JY, Oliver JM, Jagim AR, et al. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine supplementation on muscle carnosine, body composition and exercise performance in recreationally active females. *J Int Soc Sports Nutr* 2014;11(1):55.
62. Baker LB, Nuccio RP, Jeukendrup AE. Acute effects of dietary constituents on motor skill and cognitive performance in athletes. *Nutr Rev* 2014;72(12):790-802.
63. Higgins JP, Babu KM. Caffeine reduces myocardial blood flow during exercise. *Am J Med* 2013;126(8):730.
64. Ormsbee MJ, Bach CW, Baur DA. Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients* 2014;6:1782-808.
65. Rosales G, Monsálves M, Yáñez R, et al. Caffeine intake and its effect on the maximal aerobic speed corridors 800-meter athletes. *Nutr Hosp* 2015;1;32(4):1703-7.
66. Russell M, Kingsley M. The efficacy of acute nutritional interventions on soccer skill performance. *Sports Med* 2014;44:957-70.
67. Santos VG, Santos VR, Felipe LJ, et al. Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. *Nutrients* 2014;6(2):637-49.
68. Beedie CJ. All in the mind? Pain, placebo effect, and ergogenic effect of caffeine in sports performance. *Open access J Sports Med* 2010;1:87-94.
69. Gonglach AR, A de CJ, Bembem MG, et al. Muscle Pain as a Regulator of Cycling Intensity: Effect of Caffeine Ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48(2):287-96.
70. Doherty M, Smith PM, Davison RC, et al. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(11):1785-92.
71. Lee CL, Lin JC, Cheng CF. Effect on caffeine ingestion after a creatine supplementation after creatine supplementation on intermittent high-intensity sprint performance. *Eur J Appl Physiol* 2011;111(8):1669-77.
72. Vanakoski J, Kosunen V, Meririnne E, et al. Creatine and caffeine in anaerobic and aerobic exercise: effects on physical performance and pharmacokinetic considerations. *Int J Clin Pharmacol Ther* 1998;36(5):258-62.
73. Hespel P, Maughan RJ, Greenhaff PL. Dietary supplements for football. *Journal of Sports Science* 2006;24(7):749-61.
74. Zhang Y, Coca A, Casa DJ, et al. Caffeine and diuresis during rest and exercise: A meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2014;1071:1-6.