

Trabajo de Fin de Grado



Facultad de
Ciencias de la Salud
y del Deporte - Huesca
Universidad Zaragoza

Grado en Nutrición Humana
y Dietética

NUTRICIÓN EN EL DEPORTE. AYUDAS ERGOGÉNICAS Y SUPLEMENTACIÓN.

SPORT NUTRITION. ERGOGENIC AIDS AND SUPPLEMENTS.

Autora:

MARIA DEL MAR DURAN DURAN

Tutora:

DRA. PATRICIA MEADE HUERTA

(Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular)

Huesca, 2 de diciembre de 2018

RESUMEN

Los deportistas toman los suplementos, con la finalidad de mejorar su rendimiento tanto a nivel del entrenamiento como de la competición. Sin embargo, tenemos que asegurarnos que el uso de los suplementos que utilice el deportista, sea un producto seguro, legal y efectivo. Las ayudas ergogénicas se dividen en categorías distintas dependiendo del nivel de evidencia científica que tengan para la mejora del rendimiento del deportista, siempre dentro del marco de la legalidad, en esta revisión bibliográfica analizamos los suplementos nutricionales tipo A, siendo así los que tienen una evidencia científica de su beneficio. Con el objetivo de hallar el efecto ergogénico y/o beneficioso para el deportista, de los suplementos de creatina, cafeína, zumo de remolacha, beta-alanina y bicarbonato de sodio. Y también observar si la ingesta de estos suplementos puede causar efectos secundarios y si la ingesta es de forma crónica o aguda para que se observe algún beneficio. Se realizaron estrategias de búsqueda de ensayos clínicos aleatorizados, doble-ciego, cruzado, placebo-control en las principales bases de datos: PubMed, Medline, Dialnet, BVS, Cochrane Library. Hemos buscado artículos publicados en los últimos años, entre 2017 y 2018. En esta revisión se analizan los cinco suplementos comentados anteriormente, la dosis, las pruebas realizadas, los resultados y conclusiones, obteniendo la información de un efecto ergogénico en los suplementos de creatina, zumo de remolacha y bicarbonato de sodio, y no tan claro en cafeína y beta-alanina.

Palabras clave: creatine, caffeine, beta-alanine, sodium bicarbonate, beetroot juice, supplementation, supplement, ergogenic aid, sport, performance.

ÍNDICE

LISTADO DE ABREVIATURAS.....	1-2
INTRODUCCIÓN	3-6
Definición de Nutrición Deportiva	3-4
Concepto de Ayuda Ergogénica	4-5
• Clasificación de las ayudas ergogénicas	4
• Clasificación de las ayudas ergogénicas según el grado de evidencia científica	4
• Clasificación de las ayudas ergogénicas según el marco legal.....	5
• Clasificación de ayudas ergogénicas según su función.....	5
• Sustancias más consumidas por los deportistas.....	6
OBJETIVOS.....	7
METODOLOGÍA	8-16
▪ Diseño	8
▪ Fuentes documentales utilizadas	8
▪ Estrategias de búsqueda utilizadas	8-10
▪ Criterios de selección de estudios	11
✓ Inclusión.....	11
✗ Exclusión.....	11
▪ Proceso de selección de estudios.....	11-12
↳ Diagrama de flujo.....	12
Características de los estudios	13-16
CAPÍTULOS.....	17-53
I. Creatina	17-24
II. Cafeína	24-31
III. Zumo de remolacha.....	32-39
IV. Beta-alanina.....	39-46
V. Bicarbonato	46-53
CONCLUSIÓN.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55-56

LISTADO DE ABREVIATURAS

(A): efecto Agudo del suplemento	EA: ayuda ergogénica (Ergogenic Aid)
a: año	ECG: electrocardiograma
ác: ácido	EPO: eritropoietina
ACSM: Colegio americano de medicina deportiva (American College of Sports Medicine)	FC (ó HR): Frecuencia Cardíaca (Heart Rate)
ADP: difosfato de adenosina (Adenosin Diphosphate)	FDA: Administración de alimentos y medicamentos de los EEUU (US Food and Drug Administration)
AIS: Instituto Australiano de Deportes (Australian Institut of Sports)	FEMEDE: Federación Española de Medicina del Deporte
Arg: aminoácido arginina	FVO ₂ max: fuerza asociada a VO ₂ max
ASC: Australian Sports Commission	GI: Gastrointestinal
ATP: trifosfato de adenosina (Adenosine Triphosphate)	Gly: aminoácido glicina
BA: Beta-Alanina (β -alanina)	h: hora
BCAAs: aminoácidos ramificados	HCO ₃ ⁻ : Bicarbonato
BJ: Zumo de remolacha (Beetroot Juice)	HMB: β -hidrodi- β -metilbutirato
BM: masa corporal (Body Mass)	HRE: ejercicio de alta resistencia (Heavy Resistance Exercise)
(C): efecto crónico del suplemento	IHIEE : ejercicio intermitente de alta intensidad (Intermitent High-Intensity Exercise Effort)
CAF: Cafeína	IMC (ó BMI): Índice de Masa Corporal (Body Mass Index)
CH: Hidratos de Carbono (Carbohidratos)	IOC: Comité Olímpico Internacional (International Olympic Comite)
CK: creatin-quinasa (Cretin Kinase)	IR1: Prueba de recuperación intermitente de nivel 1 (Intermitent Recovery test level 1)
CMJ: salto a contramovimiento (Countermovement Jump)	ISSN: Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (International Society of Sports Nutrition)
CODAT: test de aceleración (sprint)	La ⁻ : Lactato
CP: potencia crítica (critical power)	máx: máximo
CRE: Creatina	
DHEA: dehidroepiandrosterona	
DMAA: metilhexanamina	

Met: aminoácido metionina

MG: Masa Grasa

min: minutos

MM: Masa Muscular

mmol: milimol

NaHCO₃⁻: Bicarbonato sódico

NC: suplemento sin cafeína (Non-Caffeinated supplement)

NO: óxido nítrico (Nitric Oxid)

NO₂⁻: nitrito

NO₃⁻: nitrato o nitrato inorgánico

OMBT: Test de lanzamiento de pelota medicinal por encima de la cabeza (Overhead Medicine Ball Throw Test)

Ω3: ácido graso omega 3

PAP: potenciación post-activación (Post-Activation Potentiation)

PC: fosfocreatina (Phosphocreatin)

PLA: Placebo

RIR: Repeticiones en reserva (Repetitions In Reserve)

RPE: Tasa del esfuerzo percibido (Rating of Perceived Exertion)

SB: Bicarbonato de Sodio (Sodium Bicarbonate)

SBC2: 0.2 g de NaHCO₃⁻/kg masa corporal (Sodium Bicarbonate dosis: 0.2 g /kg BM)

SBC3: 0.3 g de NaHCO₃⁻/kg masa corporal (Sodium Bicarbonate dosis: 0.3 g /kg BM)

seg: segundo/s

sem: semana/s

SmO₂: medición de saturación de oxígeno (Oxygen saturation measurement)

Supl: suplemento

TS_{GET}: ejercicio de natación graduado atados (tethered swimming graded exercise test)

TT: Prueba a contrarreloj (Time Trial)

TTE: Tiempo hasta el agotamiento (Time To Exhaustion)

VAS: Escala analógica visual (Visual Analog Scales)

VD: Vasodilatación

VO₂ máx: Volumen de Oxígeno máximo (cantidad máxima de oxígeno que podemos tomar)

VT1: umbral ventilatorio (ventilatory threshold)

WADA: Agencia mundial antidoping (World Anti-Doping Agency)

1-RM: una repetición (de x ejercicio) de fuerza máxima (one Repetition Maximum)

3min_{ALL-OUT}: ejercicio de esfuerzo total de 3 minutos (3 minutes all-out effort).

INTRODUCCIÓN

La definición de Nutrición Deportiva según González y Urdampilleta es el “estudio de la ciencia de los alimentos, de la alimentación y de la nutrición y su relación directa con el rendimiento atlético y la forma física de los deportistas y de las personas físicamente activas”¹⁸.

La forma de alimentarse, saber qué alimentos tomar, cómo, cuándo, etc., al igual que hidratarse bien es básico para la salud del deportista, para su rendimiento deportivo y para tratar de evitar la posible fatiga^{22,19}. Es importante que la nutrición de un deportista sea individualizada, ya que dependiendo del tipo de deporte (intensidad y duración del ejercicio), edad, ambiente, etc. tienen unas necesidades nutricionales diferentes, por ejemplo, un corredor de fondo no requiere las mismas condiciones nutricionales que un luchador de sumo o que un deportista de halterofilia²⁰. Debido a esto es atrayente particularizar la nutrición del deportista.

La nutrición en general y la nutrición deportiva en particular es una ciencia nueva y por lo tanto en constante crecimiento y desarrollo, de tal manera que es importante ir reciclando conocimientos cada poco tiempo, para así estar actualizados en posibles nuevos descubrimientos.

Puede que deportistas quieran maximizar su rendimiento y acuden a las ayudas ergogénicas, muy comúnmente las ayudas ergogénicas nutricionales²². Es muy importante que los deportistas se informen de estos productos que están dispuestos a tomar, ya que hay mucho fraude, todos prometen hacer “milagros”, pero realmente son muy pocos los que tienen una evidencia científica que los respalden^{19,15}. Una buena opción sería acudir a un Dietista-Nutricionista especializado en Nutrición Deportiva y que dicho profesional le indique cuáles son los más recomendados en su caso, cuáles son legales, cuáles presentan un efecto ergogénico real, etc. Otra opción más rápida y menos costosa sería acudir a fuentes válidas para saber qué suplementos tienen aval científico y cuáles no, como la AIS o ASC, que nos divide a las ayudas ergogénicas según el nivel de evidencia científica, en tipo A, tipo B, tipo C y tipo D¹³. Siendo el tipo A los suplementos con evidencia científica demostrada sobre su seguridad, legalidad y su eficacia y siendo el tipo D los suplementos de uso prohibido, ilegales e incluso pueden ser dopantes¹³.

Los deportistas, antes de empezar a tomar suplementos, una vez informados, tienen que tener presente que la toma de éstos no sustituye una buena alimentación, un descanso y recuperación adecuada o un buen entreno, es decir, que primero hay que tener unas buenas prácticas higiénico-dietéticas antes de consumir suplementos^{19,30}. Es importante probarlos fuera de temporada, que sea fuera de competición, ya que está demostrado que en algunos consumidores puede haber efectos adversos, como sean molestias gastrointestinales, flatulencias, vómitos, etc^{19,30}.

Los productos comerciales con dichos suplementos no están regulados por la US Food and Drug Administration (FDA), en consecuencia estos productos habitualmente contienen una cantidad dudosa y variable del suplemento en cuestión, incluso también pueden contener ingredientes diferentes, así como sustancias prohibidas^{19,22}.

Concepto de ayuda ergogénica (EA).

La palabra ergogénesis significa producción de energía. *Ergogenia*, deriva del griego, *ergos* significa trabajo o fuerza y *genan*, generar o proceso de generación, viniendo a referirse a “generadores de trabajo”¹⁹. Según el Documento de Consenso de Ayudas Ergogénicas de la Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE), se considera como “ayuda ergogénica” cualquier maniobra o método (nutricional, físico, mecánico, psicológico o farmacológico) realizado con el fin de aumentar la capacidad para desempeñar un trabajo físico y mejorar el rendimiento^{19,20}.

- Tipos y ejemplos de ayudas ergogénicas¹⁸:
 - EA Nutricionales: adecuada administración y elección de carbohidratos, lípidos y proteínas, zumo de remolacha, cafeína, reposición hídrica e iónica con agua y bebidas isotónicas...
 - EA Fisiológicas: fisioterapia, aclimatación al calor, masajes, entrenamiento en hipoxia...
 - EA Físicas/mecánicas: utensilios (palos de esquí, gafas para nadar, raqueta...) y equipamiento utilizado (botas de fútbol, zapatillas, rodilleras, bañador, guantes, mallas...) en cada deporte.
 - EA Psicológicas: concentración, hipnosis, relajación, motivación, psicoterapia...
 - EA Farmacológicas/medicamentosas: antioxidantes, minerales, vitaminas...

- Ayudas ergogénicas según el grado de evidencia científica (AIS)¹³:
 - Grado A: Escasos suplementos con evidencia científica demostrada, procedentes de numerosos ensayos clínicos aleatorizados (cafeína, β -alanina, zumo de remolacha, creatina, bicarbonato).
 - Grado B: Suplementos que necesitan más investigación, suele ser estudios no aleatorizados, con pocas ayudas potenciales (carnitina, HMB, glutamina).
 - Grado C: Pobre beneficio, sobre su nula eficacia o sin efecto probado, en pequeños estudios (el resto que no estén ni en grupo A, B ni D).
 - Grado D: El uso de estos suplementos está prohibido e incluso puede ser dopante (efedrina, DHEA, DMAA, sibutramina).

- Ayudas ergogénicas según el marco legal¹⁸:
 - EA legales: Sustancias que no sean nocivas para la salud del consumidor y por consiguiente que no estén prohibidas por las autoridades que regulan los concursos, pruebas, campeonatos de los diferentes deportes. Por ejemplo, creatina, cafeína, β-alanina, bicarbonato sódico, zumo de remolacha, antioxidantes, multivitamínicos, minerales, probióticos, barritas energéticas, bebidas deportivas...
 - EA ilegales: Cualquier sustancia que pueda provocar un riesgo en la salud del consumidor y/o que sea dopante. Por ejemplo: anfetaminas, esteroides anabolizantes (testosterona), EPO, antagonistas β-adrenérgicos (clenbuterol, salbutamol), estimulantes (cocaína, anfetaminas).

- Ayudas ergogénicas nutricionales y farmacológicas según su función^{18,19}:
 - Sustancias que reponen el gasto producido por la actividad: agua y reposición de carbohidratos.
 - Sustancias que influyen en el uso de combustible: cafeína, picolinato de cromo
 - Quemadores de grasa: L-carnitina, piruvato, glicerol, triglicéridos de cadena media, ácidos grasos Ω3 y Ω6...
 - Mejorar la fuerza: aminoácidos ramificados o BCAAs, taurina, ácido ferúlico, ornitina, lisina, arginina, boro, vanadio, cromo, HMB...
 - Antifatigantes: sobrecarga de carbohidratos, cafeína, ginseng, ácido aspártico...
 - Miscelánea: jalea real, ginseng, raíz de Kava, Ginko Biloba...
 - Agentes alcalinizantes: bicarbonato de sodio, citrato, β-alanina...
 - Compuestos que favorecen la obtención de energía: creatina, nitratos...
 - Inmunomoduladores: glutamina
 - Antioxidantes: peróxido de H⁺, vitamina E, coenzima Q, zinc...
 - Concentrados de nutrientes: L-carnitina, iosina, beta-hidroxi-metil-butilato, colina...
 - Vitaminas: vitamina B12, vitamina A, C, E...
 - Ayudas minerales: selenio, hierro, magnesio...

En el Documento de Consenso de la FEMEDE, Ayudas Ergogénicas Nutricionales para las Personas que Realizan Ejercicio Físico, se incluyen los productos dietéticos y sustancias más consumidas por los deportistas (Tabla 1)¹⁹.

Tabla 1. Productos dietéticos y sustancias más consumidas por los deportistas.

Hidratos de carbono	Proteínas, aminoácidos y otras sustancias nitrogenadas	Lípidos y sustancias relacionadas	Vitaminas	Minerales	Sustancias de origen vegetal	Otras sustancias
Alimentos y bebidas especialmente diseñados para deportistas con alto contenido en HC	Suplementos de proteínas completas	Ácidos grasos omega 3	Vitamina B12	Hierro	Cafeína Bioflavonoides Aceite de onagra Bromelina	
	Aminoácidos ramificados	Ácido linoleico conjugado	Vitamina B6	Magnesio	Valeriana (<i>Valeriana officinalis</i>)	Bicarbonato y citrato sódico
	Arginina	Lecitina de soja	Ácido fólico	Zinc	Germen de trigo/ Octacosanol	Ubiquinona o Coenzima Q10
	Glutamina		Vitamina C	Cobre	Alfalfa	Piruvato
	Triptófano		Biotina	Selenio	Ginseng (<i>Panax sp.</i>)	
	Ácido aspártico		Niacina			
	Creatina		Riboflavina	Cromo	Crisina (extracto de Flor de la Pasión, <i>Passiflora caerulea</i>)	Óxido nítrico
	Taurina		Tiamina	Boro	Abrojo (<i>Tribulus terrestris</i>)	Mucopolisacáridos
	β -hidroxi- β -metilbutirato		Ácido pantoténico	Yodo	Zarzaparrilla (<i>Smilax aspera</i>)	Condroitin sulfato
	L-Carnitina		Vitamina A	Manganeso	Gamma orinazol/Ácido férulico	
	N-acetil L-cisteína				Levadura de cerveza	
	Colina		Vitamina D	Potasio	Eleuterococo (<i>Eleuterococcus senticosus</i>)	Extractos glandulares
	Dimetilglicina		Vitamina E	Sodio	Equinacea (<i>Echinacea sp.</i>)	Polen
	Ácido pangámico		Vitamina K	Calcio	Espirulina (<i>Spirulina sp.</i>)	Jalea real
	Inosina			Fósforo	Árnica (<i>Arnica montana</i>)	Agua

Ayudas Ergogénicas Nutricionales para las Personas que Realizan Ejercicio Físico. Documento de Consenso de la Federación Española del Deporte. Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE).¹⁹

OBJETIVOS

1. Detectar un efecto ergogénico, es decir, un aumento en el rendimiento o disminución de la fatiga muscular, a través de la suplementación con cafeína, β -alanina, creatina, zumo de remolacha y bicarbonato sódico, que son los cinco suplementos nutricionales tipo A, según el Instituto Australiano del Deporte (AIS), que tienen un nivel de evidencia científica para la mejora del rendimiento del deportista, siempre dentro del marco de la legalidad. El uso de dichos suplementos tiene que ser seguro, legal y efectivo para el sujeto que decida tomarlos.
2. Detectar si la suplementación con cafeína, β -alanina, creatina, zumo de remolacha y bicarbonato sódico podría tener efectos secundarios negativos sobre los sujetos consumidores, ya sean molestias gastrointestinales, vómitos, eructos, flatulencias, hinchazón de tripa, etc. y la dosis óptima general o individualizada de cada suplemento gracias a la cual se pueda percibir el efecto ergogénico en el deportista.
3. Detectar si la suplementación con cafeína, β -alanina, creatina, zumo de remolacha y bicarbonato sódico provoca un efecto beneficioso para el deportista de forma crónica o aguda.

METODOLOGÍA

▪ DISEÑO

La revisión bibliográfica se llevó a cabo entre marzo y noviembre de 2018.

Los artículos científicos consultados se obtuvieron a través de diferentes bases de datos: PubMed, Medline, Dialnet, BVS, Cochrane Library. Se seleccionaron artículos científicos sobre la suplementación con cafeína, β -alanina, creatina, zumo de remolacha y bicarbonato sódico y sobre nutrición deportiva y suplementación en general en el deporte.

Los estudios debían ser experimentales y estar basados en la mejora del rendimiento deportivo y/o disminución o retraso de la aparición de la fatiga a través de la intervención de diferentes ayudas ergogénicas nutricionales de tipo A, según AIS, es decir, suplementos de creatina, cafeína, bicarbonato sódico, beta-alanina y zumo de remolacha. Los participantes debían ser mujeres y/o hombres físicamente activos, deportistas o atletas.

También se obtuvo información de libros obtenidos de forma virtual a través de la Biblioteca Virtual de la Universidad de Zaragoza (Fisiología del Ejercicio Físico y el Entrenamiento; Ayudas Ergogénicas y Nutricionales) y de los apuntes de la Asignatura de Nutrición en el Deporte de 3º curso del Grado de Nutrición Humana y Dietética que nos impartió la Dra. Marta Castro. También se buscó y/o recopiló información de FEMEDE, World Anti-Doping Agency (WADA Prohibited List, actualizada en enero de 2018), IOC, ASC, ISSN, AIS, US Food and Drug Administration, ACSM, NIH, EFDeportes.

▪ FUENTES DOCUMENTALES UTILIZADAS

Las bases de datos usadas fueron:

- PubMed: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
- Medline: <https://medlineplus.gov/>
- Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/> . Prácticamente todos los artículos estaban cerrados.
- BVS: <http://bvsalud.org/es/>
- Cochrane Library: <https://www.cochranelibrary.com/> . No encontramos el tipo de artículos deseados, solo en el zumo de remolacha.

▪ ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA UTILIZADAS

La búsqueda se realizó con unos parámetros de tiempo, relativos a la fecha de publicación del artículo. Hemos recopilado artículos publicados en los últimos años (2017-2018), en las bases de datos

anteriormente mencionadas, para así conocer las últimas novedades y posibles cambios de estos suplementos. La búsqueda se realizó añadiendo añadiendo los siguientes términos: “creatine” o “caffeine” o “beta-alanine” o “β-alanine” o “sodium bicarbonate” o “beetroot juice” y “supplementation” o “supplement” o “ergogenic aid” y “sport” o “performance” (Tablas 2-7).

Tabla 2. Estrategia de búsqueda y palabras clave utilizadas.

Tipo de suplemento:	Suplementación:	Dirigido a:
Creatine	Supplementation	Sport
Caffeine	Supplement	Performance
Beta-alanine	Ergogenic aid	
β-alanine		
Sodium bicarbonate		
Beetroot juice		

Tabla 3. Filtros en las bases de datos.

Base de datos	Filtros
PubMed	Ensayo clínico, texto completo gratuito, 5 últimos años y en humanos
BVS	Texto completo
Cochrane Library	Últimos 2 años
Dialnet	Artículo de revista

Tabla 4. Palabras claves y resultados con PubMed.

Palabras clave combinadas	Resultados
Creatine + supplement + performance	29
Creatine + supplement + sport	40
Creatine + ergogenic aid EA + sport/performance	2
Caffeine + supplement + performance	17
Caffeine + supplement + sport	19
Caffeine + ergogenic aid + sport/performance	5
Beta-alanine + supplementation + performance	10
Beta-alanine + ergogenic aid + sport/performance	2
Sodium bicarbonate + supplement + performance	5
Sodium bicarbonate + ergogenic aid + sport/performance	0

Beetroot juice + supplementation + performance	17
Beetroot juice + supplementation + sport	19
Beetroot juice + ergogenic aid + sport/performance	3

Tabla 5. Palabras claves y resultados con Dialnet.

Palabras clave	Resultados
Creatine + supplement + performance	37
Caffeine + supplement + performance	20
Beta-alanine + supplement + performance	24
Sodium bicarbonate + supplement + performance	7
Beetroot juice + supplement + performance	3

Tabla 6. Palabras claves y resultados con BVS.

Palabras clave	Resultados
Creatine + supplement + performance	294
Caffeine + supplement + performance	168
Beta-alanine + supplement + performance	87
Sodium bicarbonate + supplement + performance	38
Beetroot juice + supplement + performance	64

Tabla 7. Palabras claves y resultados con Cochrane Library.

Palabras clave	Resultados
Creatine + supplement + performance	0
Caffeine + supplement + performance	0
Beta-alanine + supplement + performance	0
Sodium bicarbonate + supplement + performance	0
Beetroot juice + supplement + performance	36

▪ CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS

✓ Inclusión

Los criterios de inclusión de artículos en este trabajo fueron los siguientes: estudios experimentales de ayudas ergogénicas o suplementos de tipo A -según AIS-, es decir, creatina, cafeína, bicarbonato sódico, beta-alanina y zumo de remolacha con un efecto beneficioso en el rendimiento y/o fatiga del deportista. Cuyo experimento esté realizado en mujeres y/o hombres adultos, sanos y físicamente activos o deportistas. Redactados en inglés o español. Comprendidos en los años 2017 y 2018.

✗ Exclusión

Los criterios de exclusión de artículos para este trabajo fueron aquellos cuyo suplemento o ayuda ergogénica utilizada pertenezca al tipo B, C o D, según AIS, como por ejemplo: carnitina, HMB, glutamina, efedrina, DMAA, DHEA, androstenediona, etc. Y por deducción que esté en la lista de productos dopantes de WADA (WADA Prohibited List). También los suplementos tipo A que no estén dirigidos a un aumento del rendimiento deportivo o retraso de la fatiga, es decir, que no se enfoquen en la nutrición deportiva. Cuyos sujetos del estudio no sean personas activas físicamente, menores de edad ni mayores de 50 años. Estudios realizados in vitro o en animales. Con fechas de publicación anteriores al año 2017. Escritos en idiomas que no sean español o inglés. Revisiones y/o meta-análisis.

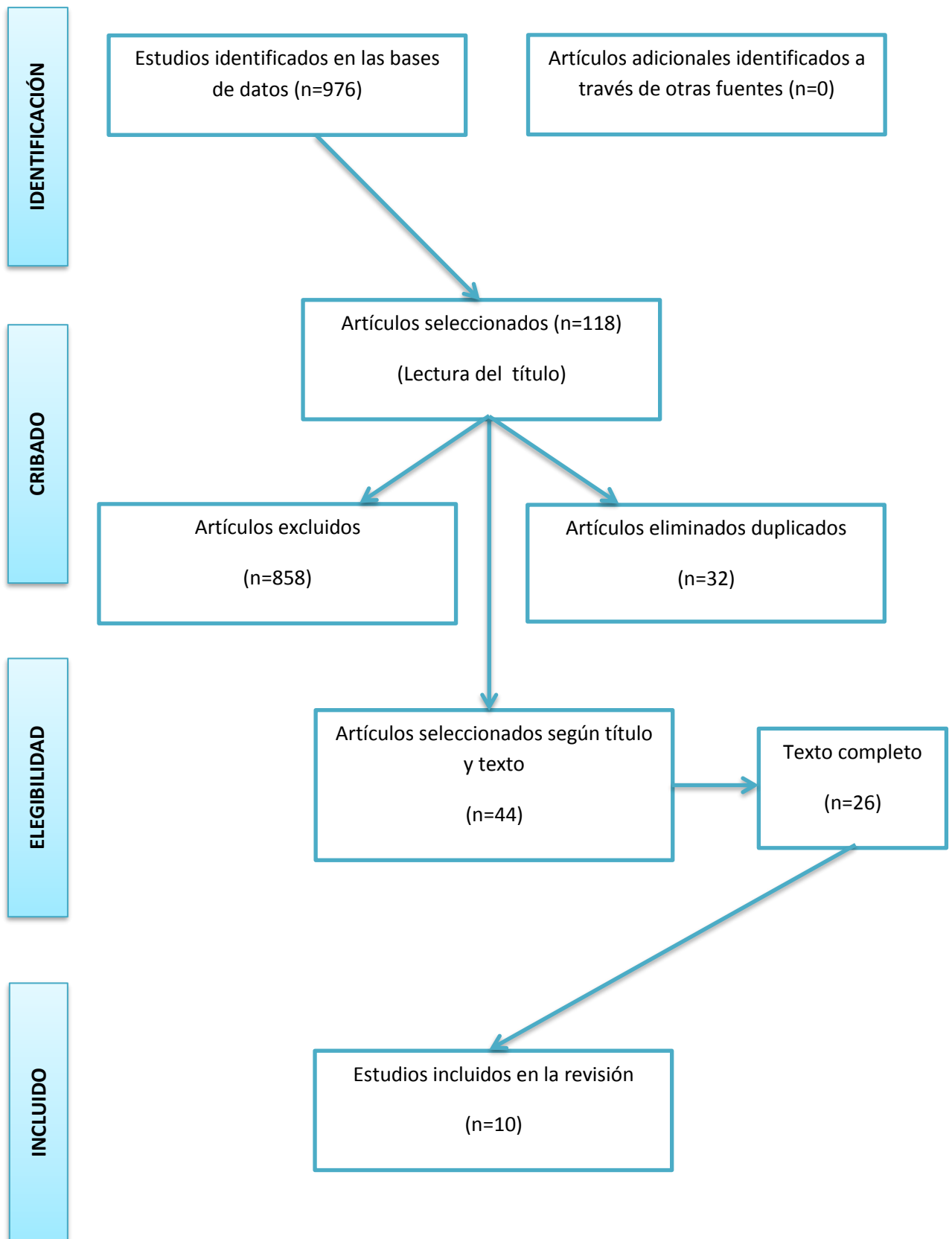
▪ PROCESO DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS

En primer lugar se buscaron artículos basados en estudios clínicos aleatorizados, doble-ciego, que vienen a ser estudios experimentales. Después se analizó el título y, si era de nuestro interés, a posteriori se leyó el resumen, centrándonos en los objetivos e intereses de nuestra revisión.

Al finalizar la búsqueda en las 4 bases de datos se encontraron 976 resultados, de los cuales se seleccionaron 118 estudios. Se excluyeron 858 artículos mediante la lectura del título en primera estancia. Una vez hecha la primera selección se excluyeron los artículos duplicados, 32. El resto, tras la lectura del título y el resumen se seleccionaron 44 artículos para la valoración del texto completo. Tras la lectura del texto completo de 26 artículos, se seleccionaron 10 para realizar los capítulos de la presente revisión, para así poder hacer comparaciones entre artículos, y de estos 10, se separaron 5 para plasmarlos como referencia en las tablas del apartado de “Características de los estudios”.

Esta información está explicada de forma más visual en el siguiente diagrama de flujo (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de artículos.



Características de los estudios

En las siguientes tres páginas, se presenta una tabla dividida en tres partes (Tablas 8, 9 y 10) con las características de la muestra.

Cómo podemos observar, el periodo de publicación de los artículos seleccionados para esta revisión es muy reciente, entre 2017 (Nyakayiru J et al, Puente C et al, Gough LA et al) y 2018 (Wang C et al, Santana JO et al), realizados todos ellos en diferentes países: Taiwan, Holanda, España, Brasil y Reino Unido.

La integridad de los artículos son estudios experimentales, es decir, aleatorizados y doble-ciego.

Las características de los sujetos engloban desde personas físicamente activas (16 sujetos) hasta deportistas expertos en diferentes deportes, como baloncesto (30 sujetos), baseball (10 sujetos), fútbol (32 sujetos), ciclismo (11 sujetos) y tchoukball (10 sujetos). Éste último es un deporte similar al balonmano, un deporte de equipo, con 7 jugadores en cada equipo, se juega bajo techo con dos porterías (que son como camas elásticas) a cada lado de la cancha y los jugadores manejan la pelota con la mano.

Esta revisión tiene un total de 109 participantes, con un evidente predominio del sexo masculino sobre el femenino, 99 varones y 10 mujeres, todas ellas pertenecientes al único estudio mixto de esta revisión, de Puente C et al. El tamaño de la muestra varía desde 11 sujetos en el estudio de Gough LA et al, 2017, hasta 32 participantes en el de Nyakayiru J et al, 2017; en este último los participantes inicialmente eran 40 sujetos, pero hubo que excluir a 8 por lesión y/o incumplimiento del protocolo establecido en el estudio experimental y/o limitaciones de tiempo personal. Los 109 participantes firmaron un consentimiento informado para poder realizar los ensayos experimentales.

Encontramos un abanico de edad comprendido entre 18 y 45 años, siendo el artículo de Wang et al el estudio enfocado a una población más joven, con una media de 20 ± 2 años y siendo Gough LA et al, 2017 el estudio realizado en personas mayores de esta revisión, 32 ± 9 años. Con características antropométricas variadas.

En los criterios de inclusión, podemos observar similitudes entre estudios. La más destacada es tener una buena condición física, es decir ser deportista o mínimo ser una persona físicamente activa, con un mínimo de recorrido y experiencia practicando deporte.

En los criterios de exclusión cabe destacar que no presenten lesiones o enfermedades y el consumo de medicamentos. El artículo de Gough LA et al, 2017 tiene la peculiaridad de no haber ingerido tampón intra o extracelular en los últimos 6 meses.

Los objetivos de los estudios mayoritariamente se centran en detectar o conocer una mejora en el rendimiento a través de la ingesta de los cinco suplementos de esta revisión.

Esta información está presente en las Tablas 8, 9 y 10 de forma más visual.

Tabla 8. Características de los estudios.

EA	Autor y Año	País	Diseño	Tamaño muestra	Sujetos	Sexo	Edad	Peso y altura
CRE	Wang C et al, 2018	Taiwan	Doble-ciego, aleatorizado de pares emparejados	30 sujetos	Atletas universitarios de equipos de baloncesto, baseball y tchoukball	♂	20 ± 2 años (CRE) ; 20 ± 1 a (PLA)	67.86 ± 6.72 kg (CRE) 70.21±11.16 kg (PLA) 171.93±4.86cm (CRE) 175.93±8.49cm (PLA)
BJ	Nyakayiru J et al, 2017	The Netherlands	Aleatorizado, doble ciego, cruzado, placebo-control	32	Jugadores de fútbol entrenados, 2º y 3º división Holanda	♂	23 ± 1 a	Peso: 77 ± 1 kg Altura: 181 ± 1cm
CAF	Puente C et al, 2017	España	Aleatorizado, doble ciego, placebo-control y contrabalanceado	20	Jugadores de baloncesto expertos, bien entrenados de 2 equipos diferentes	♀ 10 ♂ 10	27.9 ± 6.1 a (♀) ; 27.1 ± 4 a (♂)	70.9 ± 13 kg (♀) 89.5 ± 13.5 kg (♂) ; 175.2 ± 0.1 cm (♀) 193.1 ± 8.8 cm (♂)
BA	Santana JO et al, 2018	Brazil	Aleatorizado, doble ciego, cruzado	16	Adultos sanos físicamente activos	♂	30.3 ± 4.5 a (PLA); 28.5 ± 3.2 a (BA)	79.5 ± 11.2 kg (PLA) 73.4 ± 12.5 kg (BA) ; 173 ± 0.1 cm (PLA) 172 ± 0.1 cm (BA)
SB	Gough LA et al, 2017	UK	Aleatorizado, doble-ciego, cruzado	11	Ciclistas entrenados	♂	32 ± 9 a	86.4 ± 12.9 kg 182 ± 8 cm

Tabla 9. Características de los estudios y dosis del suplemento.

EA	Criterios inclusión	Criterios exclusión	Dosis	Duración ingesta suplemento
CRE	-Atletas universitarios de equipos de baseball, tchoukball y baloncesto.	-Fuerza máx de sentadilla menor que 1.5 * su peso corporal. -Lesión miembro inferior (últimos 6 meses). -Experiencia con: ½ sentadilla y entrenamiento pliométrico (menos de 1 año). -Consumo crónico de antiinflamatorios o supl. Nutricionales (en últimos meses)	2 g creatina/día (20 g/día precarga CRE * 6 días)	4 semanas (C)
BJ	-Jugadores de fútbol entrenados de la 2º o 3º división amateur holandesa.	-Lesión.	800 mg nitrato/día (140ml BJ en 2 tomas/día) [= 12.9 mmol NO ₃ ⁻]	6 días x 2 periodos (PLA-BJ). 3 horas antes de la prueba (C)
CAF	-Jugadores de baloncesto expertos. -Mínimo 10 años experiencia baloncesto. -Haber entrenado aprox. 2h/día, 5 días/sem (incluyendo competición semanal).	-Historial previo de enfermedades cardiopulmonares. -Tomar medicamentos o estimulantes simpáticos durante experimento. -Lesión musculo-esquelética (en los 3 meses previos). -Consumidores habituales de medicamentos -Fumadores. -Consumidores de >100 mg cafeína/día	3 mg cafeína/kg BM en cápsula	60 min antes de la prueba (A)
BA	-Adultos sanos físicamente activos. -Al menos 6 meses experiencia en carrera. -Mejor tiempo personal en 10-km entre 55 y 65 min. -Mínimo 2-3 sesiones de entrenamiento/sem	-Enfermedades pre-existentes. -Sujetos sin el formulario de aprobación médica.	5 g β-alanina/día en cápsulas (3 veces/día)	23 días (C)
SB	-Ciclistas entrenados. -Entrenar mín. 4h/sem. -Tener 2 años de experiencia continua en ciclismo. -Entre 18 y 50 años.	-Si habían ingerido tampón intra o extracelular en los últimos 6 meses.	0.2 g NaHCO₃⁻/kg BM ó 0.3 g/kg BM como bebida con 400 ml agua y 50 ml zumo grosella sin azúcar	Entre 40 y 110 min antes del ejercicio, individualizado (A)

Tabla 10. Características de los estudios. Objetivos y conclusiones.

EA	Objetivo	Conclusión
CRE	<p>Evaluar el efecto de 4 sem de entrenamiento complejo combinado con suplementación de CRE en:</p> <ul style="list-style-type: none"> -el rendimiento deportivo y -biomarcadores de daño muscular 	<p>-4 semanas de entreno complejo con un tiempo individual PAP óptimo podría:</p> <ul style="list-style-type: none"> ·reducir %MG y mejorar ·la fuerza muscular máx, ·el rendimiento de 30-m de sprint, ·salto de altura y ·potencia máx de salto. <p>-Suplementación con CRE durante protocolo de entreno complejo, podría incrementar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ·fuerza muscular máx. después de 4 sem de entrenamiento complejo y ·reducir el daño muscular causado por los asaltos del entreno complejo.
BJ	<p>Investigar si 6 días de supl BJ (rico en nitrato) mejora el rendimiento en IHIEE, en jugadores de fútbol entrenados</p>	<p>-Mejora del rendimiento en IHIEE en jugadores de fútbol entrenados después de 6 días con supl. BJ (rico en nitratos).</p> <p>-IHIEE a su vez mejora estos parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ·↓ FC media ·↑ [NO₃⁻] y [NO₂⁻] en plasma y saliva
CAF	<p>Detectar el efecto de la ingesta de cafeína en el rendimiento general del baloncesto en jugadores expertos</p>	<p>3 mg CAF/kg podría considerarse una ayuda ergogénica eficaz para el aumento del rendimiento físico y general del baloncesto (sin influencia en precisión tiros). Posible efecto secundario: insomnio.</p>
BA	<p>Conocer la:</p> <ul style="list-style-type: none"> -concentración de lactato después de 10-km TT y -el tiempo en terminar dicha prueba (rendimiento) al inicio y después de 23 días de supl. BA 	<p>Suplementación con BA:</p> <ul style="list-style-type: none"> -ha mejorado el tiempo en finalizar carrera 10-km y -disminuyó [La⁻] en personas físicamente activas en carrera prolongada.
SB	<p>Reproducibilidad de la ingesta individualizada de NaHCO₃⁻ en: -el rendimiento en una prueba a contrarreloj de 4-km</p> <p>-tiempo individual para alcanzar pico de HCO₃⁻ en sangre</p>	<p>Respuestas consistentes del rendimiento y fisiológicas de la ingesta de NaHCO₃⁻ cuando el ejercicio comienza en el momento individual del pico de HCO₃⁻.</p> <p>Ambas dosis, 0.2 g/kg y 0.3 g/kg, presentaron balance ácido-base sanguíneo similar y rendimiento fiables, sin diferencias significativas entre dosis. Esto sugiere que ambas dosis pueden ser usadas como EA.</p> <p>Sí respuesta variada en molestias GI, en la menos dosis, menor aparición de molestias GI.</p>

I. CAPÍTULO 2. CREATINA

La creatina (CRE) es un compuesto inorgánico nitrogenado que se encuentra de forma natural en el cuerpo, un 95% en el músculo ($\frac{2}{3}$ en forma de creatina fosforilada y $\frac{1}{3}$ como creatina libre), también la hallamos en la dieta, como por ejemplo en la leche, la carne roja y blanca, el pescado, el marisco, etc. siendo el principal suministro la carne y los productos del mar^{1,16,25}.

La creatina sirve como sustrato en la generación de energía, que necesita el músculo para su funcionamiento, a través de la contracción muscular esquelética^{1,16}. Con la toma del suplemento de creatina se aumentan los niveles de fosfocreatina en reposo en el músculo y creatina libre, buscando un retraso de la aparición de la fatiga muscular y resultados en la mejora del rendimiento¹⁶.

La creatina se produce endógenamente en el hígado, en el riñón y en menor cantidad en el páncreas, con una cantidad de 1 g/día según Cooper R et al., el resto de creatina, como hemos comentado con anterioridad, proviene de la dieta, sintetizada a partir de aminoácidos esenciales (Arg, Met) y no esenciales (Gly)^{1,16}. Las células con altos requerimientos de energía usan la creatina en forma de fosfocreatina (PC), la cual sirve como fuente de fósforo (P) para producir ATP a partir de ADP^{16,15}. Las células del músculo esquelético guardan suficiente ATP y fosfocreatina para 10 segundos de una actividad de alta intensidad aproximadamente^{15,16}. A través de la suplementación con creatina a corto plazo, se aumenta la creatina total del 10 al 30 % y las reservas de fosfocreatina aumentan entre 10 y 40 %, según Kreider RB et al^{1,16}. Otra función de la creatina es su capacidad para rechazar los iones hidrógeno y así retrasando la acidosis, que es un contribuyente de la fatiga muscular^{15,16}.

Un joven medio de 70 kg tiene un pool aproximado de creatina de entre 120 y 140 g, varía según tipo de fibra muscular (contracción rápida: tipo II), volumen muscular corporal, según Cooper R et al., y de la dieta^{1,16}. Los veganos, que no consumen productos de origen animal (donde más cantidad de creatina hay), son los que mayor beneficio les provoca el consumo del suplemento de creatina comparado con una persona carnívora, que ya debe tener el pool de creatina a niveles máximos, debido a que el músculo solo puede almacenar una cantidad limitada de creatina, por consiguiente, consumiendo más creatina procedente de la dieta, no van a aumentar los niveles de creatina en músculo, de ahí, que se observe un mayor efecto del suplemento en personas que no suelen consumir alimentos ricos en creatina, es decir, sujetos que tienen unos bajos niveles de creatina basal, comparados con los sujetos que ya tienen un nivel basal de creatina más alto antes de la suplementación, estos tendrán menor probabilidad de beneficio^{1,16}. Este hecho podría explicar que algunos deportistas consumidores de este suplemento sean respondedores o no al efecto ergogénico de la creatina^{1,16}.

El consumo de este suplemento está permitido por el Comité Olímpico Internacional. El suplemento de creatina se presenta como un polvo insípido y cristalino que se disuelve fácilmente en líquido. Se comercializa como monohidrato de creatina o en combinación con fósforo^{1,16}.

Según la ISSN (International Society of Sports Nutrition) “no hay evidencia científica de que el uso a corto o largo plazo del monohidrato de creatina tenga efectos perjudiciales sobre las personas sanas”.

El estudio experimental de Wang C-C et al, 2018¹ se llevó a cabo durante 4 semanas, con la presencia 15 sujetos con ingesta de placebo (2 g de carboximetil celulosa más 2 g de dextrosa) a diario y 15 sujetos con una dosis diaria de 2 g de monohidrato de creatina (más 2 g de dextrosa). Los participantes tenían que ingerir el suplemento después de comer. Hubo un periodo de pre-carga de 6 días para ambos grupos, CRE (grupo experimental con creatina) y PLA (grupo placebo), antes de empezar con esta dosis de 2 g creatina/día. En este periodo de 6 días, el grupo CRE tomó 20 g/día de monohidrato de creatina en esta forma: 5 g de creatina más 5 g de dextrosa disuelto en 300 ml de agua, cuatro veces al día durante 6 días, los del grupo PLA siguieron el mismo protocolo pero en vez de ingerir creatina tomaron carboximetil celulosa. El suplemento para ambos grupos tenía el mismo sabor y color.

Los 30 sujetos eran varones y atletas universitarios de 3 tipos de deporte explosivo: baseball, baloncesto y tchoukball. Todos ellos fueron voluntarios en participar en el estudio. En este ensayo se tuvieron en cuenta algunos requisitos, como por ejemplo, el estudio se realizó en periodo de no temporada, por si había algún efecto secundario negativo durante el experimento, que no afectara a las competiciones de los participantes. Dichos sujetos mantuvieron sus programas de entrenamiento básico con las habilidades específicas de cada deporte (baloncesto, baseball, tchoukbal) y la última cláusula fue mantener su dieta habitual durante todo el periodo experimental, a fin de evitar resultados equívocos.

Los sujetos siguieron un protocolo de entreno complejo, que es una repetición de varias sesiones de ejercicios de alta intensidad y ejercicios excéntricos de resistencia (ejercicios explosivos) seguidos de descansos breves. Estos ejercicios excéntricos inducen el daño muscular detectado por creatin quinasa en sangre (CK, es un biomarcador indirecto de daño muscular). La potenciación post-activación (PAP) es la razón fisiológica de la buena realización del entrenamiento complejo. El ejercicio de alta resistencia (HRE) provoca la PAP, que a su vez, provoca el cambio en las características de fuerza-tiempo y fuerza-velocidad del músculo esquelético, lo que lleva a una mayor potencia de salida y en consecuencia una mejora del rendimiento de los ejercicios explosivos.

Después de los 6 días de la fase de carga, los 30 sujetos realizaron media sentadilla 1-RM (una repetición con fuerza máxima) para hallar la carga de resistencia para el posterior HRE y el test para conocer el tiempo óptimo individual de PAP (mediante un turno de entrenamiento complejo, con

medias sentadillas de 5-RM seguido de CMJs), en días separados. Para conocer la fuerza 1-RM, para la media sentadilla en el entrenamiento complejo, los sujetos realizaron 1-RM con carga del 87-93% del 1-RM predeterminado, incrementado de 14-18 kg hasta que el sujeto fue capaz de completar una repetición con la técnica apropiada del ejercicio. Después se midió la composición corporal (altura, masa corporal, porcentaje de materia grasa y porcentaje de materia libre de grasa), también se evaluó el sprint de 30 m y el rendimiento del salto con salto a contramovimiento (CMJ), estos dos últimos test se repitieron 2 veces y se escogió la mejor actuación de ambas para el análisis. Después de que esta prueba previa terminara, los participantes empezaron el entrenamiento complejo con el tiempo óptimo de PAP individual, 3 veces por semana durante 4 semanas.

Al inicio del entrenamiento complejo se cogió una muestra de sangre para valorar la actividad CK, también se midió inmediatamente al finalizar el entreno, 24 y 48 horas después del ejercicio. Dos días después del último entrenamiento se volvieron a medir la composición corporal, media sentadilla 1-RM, sprint de 30 m y rendimiento de salto. El protocolo del entrenamiento complejo en este estudio fue el siguiente: 6 series de HRE (media sentadilla 5-RM) y entrenamiento pliométrico (salto vertical o salto desde sentadilla, cada serie uno diferente) durante 8 repeticiones cada serie, con 4 min de descanso entre series.

Después de 4 semanas con suplementación de creatina combinado con el entrenamiento complejo se observaron diferentes efectos sobre la composición corporal, el rendimiento deportivo y el daño muscular. Después del entrenamiento la fuerza 1-RM, en ambos grupos (PLA y CRE), aumentaron significativamente comparado con los resultados de antes del entrenamiento. El rendimiento de 30 m de sprint, en ambos grupos (CRE y PLA), mejoró significativamente después del entrenamiento de 4 semanas comparado con el día 1 de entreno. La fuerza fue significativamente mejor en el grupo CRE (después de 4 semanas) comparado con el grupo PLA (después de 4 semanas). Después del mes de entrenamiento, el porcentaje de materia grasa, la altura de salto y la potencia máxima de salto para ambos grupos (CRE y PLA) mejoró significativamente comparado con antes del entrenamiento complejo (Tabla 11).

Tabla 11. Composición corporal y rendimiento deportivo después de 4 semanas de entrenamiento complejo.

Table 3. Body composition and sport performances in the creatine and placebo groups after 4 weeks of complex training.

Variable	Creatine Group		Placebo Group	
	Pre-Training	Post-Training	Pre-Training	Post-Training
Body mass (kg)	67.87 ± 6.72 (63.00–72.75)	68.51 ± 6.50 (63.79–73.24)	70.21 ± 11.16 (65.34–75.09)	70.34 ± 10.82 (65.62–75.06)
➔ Body fat (%) ^a	15.78 ± 4.18 (13.52–18.05)	13.77 ± 4.01 (11.87–15.68)	13.67 ± 4.37 (11.87–15.68)	12.76 ± 3.13 (10.86–14.67)
Fat-free mass (kg)	57.07 ± 4.84 (53.06–61.08)	58.97 ± 5.18 (55.03–62.91)	60.47 ± 9.55 (56.46–64.48)	61.58 ± 9.17 (57.64–65.52)
30 m sprint (second)	4.33 ± 0.20 (4.21–4.43)	4.14 ± 0.18 [#] (4.05–4.23)	4.27 ± 0.21 (4.16–4.38)	4.19 ± 0.16 [#] ←
Half squat 1-RM (kg)	133.67 ± 14.07 (125.76–141.573)	178.33 ± 16.86 ^{#,*} (169.99–186.68)	131.67 ± 15.77 (123.76–139.57)	165.66 ± 14.62 [#] ←
➔ Jump height (cm) ^a	45.60 ± 5.18 (42.63–48.58)	54.60 ± 5.95 (51.63–57.59)	46.99 ± 6.04 (44.02–49.97)	53.93 ± 5.29 (50.96–56.91)
➔ Jump peak power (W) ^a	3729.40 ± 474.54 (3446.08–4012.72)	4166.52 ± 466.87 (3868.38–4464.66)	3903.41 ± 635.71 (3620.10–4186.73)	4260.44 ± 646.17 (3962.30–4558.58)

Data are mean ± SD (95% confidence interval (CI)). *n* = 15 in each group. [#] Indicates a significant difference (*p* < 0.05) from the pre-training value within the group. ^{*} Indicates a significant difference (*p* < 0.05) from the placebo group at the same training time. ^a Indicates a significant time main effect (*p* < 0.05).

Tabla del artículo de Wang C-C et al, 2018¹.

La actividad de CK aumentó significativamente (responsable del daño muscular), inmediatamente después, 24 y 48 horas después del entrenamiento, en ambos grupos, igual al primer y al último turno de entrenamiento. No obstante, al primer y al último turno de entrenamiento, justo después, 24 y 48 horas después del entrenamiento complejo, la actividad CK en el grupo CRE disminuyó significativamente comparado con el grupo PLA. (Figura 2)

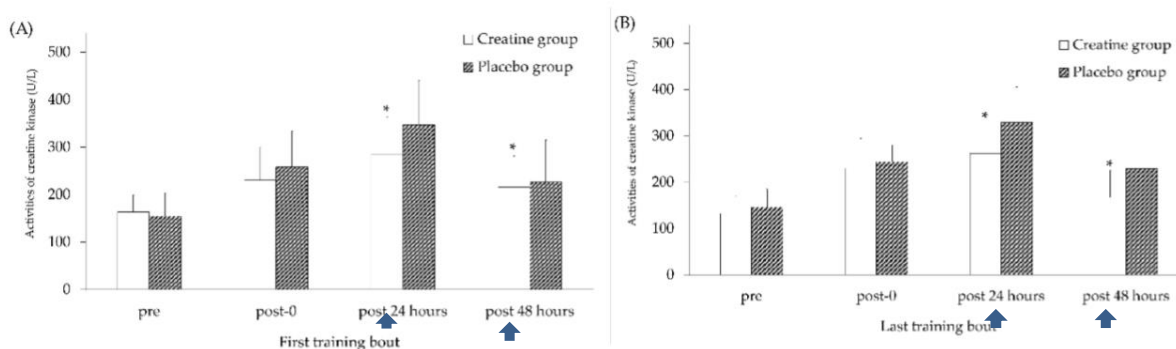


Figure 1. Creatine kinase activity in the creatine and placebo groups after (A) the first and (B) last training bouts. All values after training were significantly increased compared with pre-training values in both groups (*p* < 0.05). ^{*} Indicates a significant difference (*p* < 0.05) from the placebo group at the same time point.

Figura 2. Actividad de la creatin-kinasa.

Figura del artículo de Wang C-C et al, 2018¹.

Con estos resultados, los autores pudieron hacer una resolución del estudio en la que básicamente se ven dos tipos de mejoras, unas a causa del entrenamiento complejo crónico (4 semanas en este caso) y otras a causa de la suplementación con creatina combinado con entrenamiento complejo durante un mes. Cuatro semanas de entreno complejo con un tiempo óptimo PAP individual, podría reducir el porcentaje de materia grasa y mejorar la fuerza máxima muscular, el rendimiento de un sprint de 30 metros, el salto de altura y la potencia máxima de salto. La suplementación con creatina durante el protocolo de entrenamiento complejo, podría incrementar la fuerza máxima muscular después de 4 semanas de entrenamiento y reducir el daño muscular causado por las sesiones del entrenamiento complejo. Aunque 4 semanas de entrenamiento complejo junto con creatina, no afectó a la masa corporal ni la masa libre de grasa. La pre-carga de creatina (20 g creatina /día), los 6 días antes del inicio del entrenamiento complejo, redujo significativamente la actividad CK después del entrenamiento.

Así que podemos deducir que algunas mejoras serían debidas al tipo de entrenamiento de forma crónica. Y algunas otras al conjunto de este tipo de entrenamiento y la suplementación con creatina.

El artículo de Wang C-C et al 2017⁶ consistía en la realización de un entrenamiento complejo con una prueba de levantamiento de barra y vuelta a bajar, tumbado boca arriba en un banco con un peso del 87-93% del 1-RM predeterminado, incrementando poco a poco la carga, hasta que no pudieron realizar el ejercicio con la técnica apropiada. Y la segunda parte del entrenamiento complejo era el lanzamiento por encima de la cabeza de un balón medicinal de 3 kg tan lejos como fuera posible (OMBT). A priori de que los participantes realizaran el entrenamiento complejo, se calculó el tiempo óptimo PAP individual, la fuerza 1-RM y se establecieron las medidas antropométricas.

Este entrenamiento complejo lo realizaron 17 piragüistas en 2 ocasiones, antes y después del periodo de 6 días con suplementación de creatina. El grupo experimental ingirió 20 g de monohidrato de creatina (dividido en 4 veces al día, con 5 g). Después de estos 6 días, tomaron 2 g/día como dosis de mantenimiento.

En el estudio de Wang C-C et al 2017⁶ se vieron los siguientes resultados: La fuerza 1-RM aumentó significativamente en el grupo CRE antes y después de los 6 días con suplementación de 20 g/día CRE. Sin embargo no hubo diferencias significativas en el grupo PLA ni entre el grupo CRE y el grupo PLA (Figura 3).

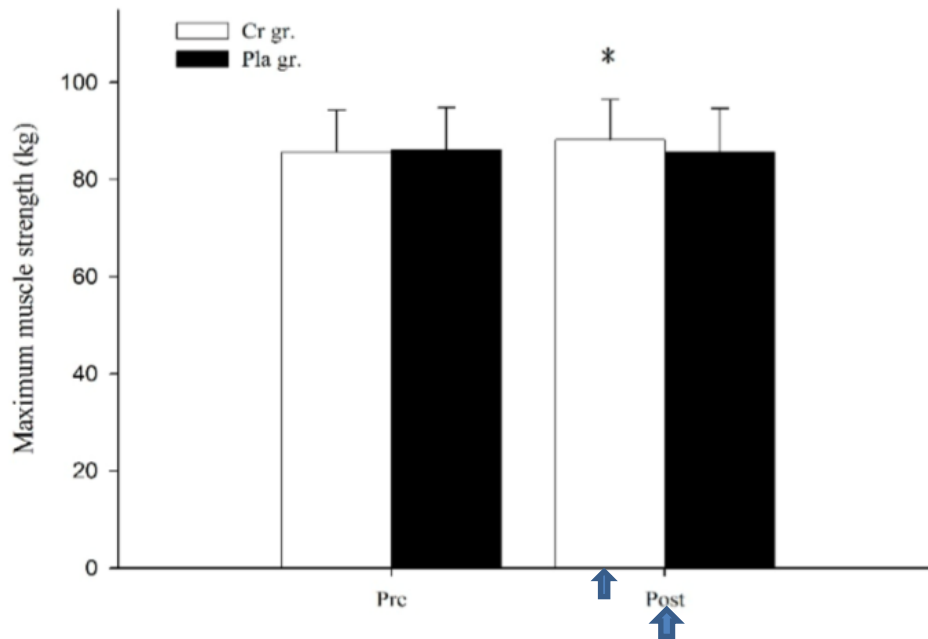


Figure 1. Maximum muscle strength of bench row before and after six days of creatine or placebo supplementation. Data are the means \pm standard deviation. Cr gr. = creatine group; Pla gr. = placebo group; Pre = pre-supplementation; Post = post-supplementation. Asterisk (*) indicates a significant difference ($p < 0.05$) from the pre-supplementation value within the group.

Figura 3. Fuerza máxima muscular en el banco de remo después de seis días con suplemento de creatina o placebo.

Figura del artículo de Wang C-C et al, 2017⁶.

Tampoco hubo cambios significativos en la distancia de OMBT, después del tiempo óptimo PAP individual, en el entrenamiento complejo, para ambos grupos (Figura 4).

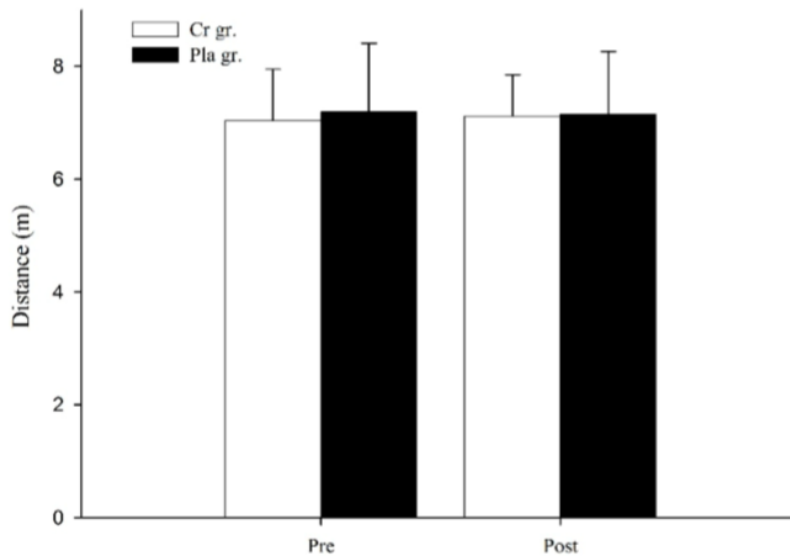


Figure 2. Distance of overhead medicine ball throw after the optimal individual post-activation potentiation (PAP) time in complex training bouts before and after six days of creatine or placebo supplementation. Data are the means \pm standard deviation. Cr gr. = creatine group; Pla gr. = placebo group. Pre = pre-supplementation; Post = post-supplementation.

Figura 4. Distancia del tiro de la pelota medicinal por encima de la cabeza después del tiempo óptimo de PAP individual en entrenamiento complejo antes y después de 6 días de suplemento con creatina y placebo.

Figura del artículo de Wang C-C et al, 2017⁶.

Y en cuanto al PAP, después de la suplementación con CRE, el tiempo óptimo PAP individual fue significativamente más temprano (en menor tiempo) en el grupo CRE de lo que fue en el mismo grupo antes de la suplementación. No obstante, no hubo diferencias significativas en el grupo PLA ni entre el grupo CRE y el grupo PLA (Figura 5).

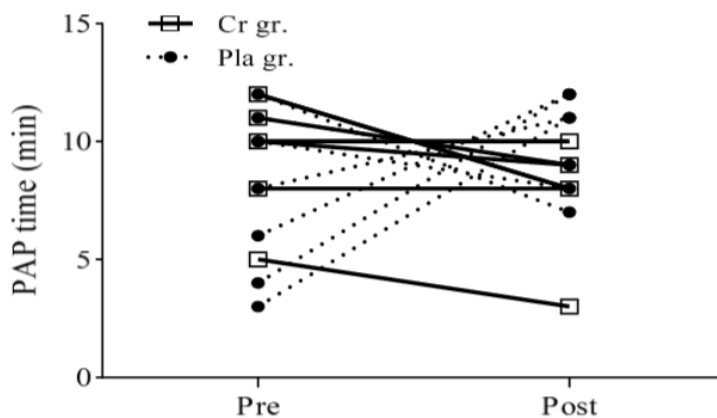


Figure 3. Optimal individual PAP time for each subject following creatine or placebo supplementation. Cr gr. = creatine group; Pla gr. = placebo group; Pre = pre-supplementation; Post = post-supplementation.

Figura 5. Tiempo óptimo de PAP individual en cada sujeto con suplemento creatina o placebo.

Figura del artículo de Wang C-C et al, 2017⁶.

Con estos resultados en la mano, los autores concluyeron que la suplementación con creatina, en un periodo de 6 días (a corto plazo), aumentó significativamente la fuerza máxima en el banco de remo y redujo los efectos perjudiciales de la fatiga en el tiempo óptimo PAP individual durante la sesión de entrenamiento complejo, involucrando el tren superior. Pero no mejoró la potencia explosiva. Así que parece ser un método eficaz de suplementación con respecto a la eficiencia y al desarrollo de la fuerza y a los beneficios para atenuar los síntomas de la fatiga muscular y aumentar la recuperación después de HRE del tren superior.

Si comparamos el artículo de Wang C-C et al 2018¹, con el de Wang C-C et al 2017⁶, podemos observar muchas similitudes. En ambos se calculó el tiempo óptimo PAP individual y la fuerza 1-RM, a posteriori los participantes realizaron un entrenamiento complejo, con la diferencia que en el artículo de Wang C-C et al 2017⁶ iba dirigido a piragüistas, es decir, el rendimiento lo veríamos reflejado en el tren superior y en el artículo de Wang C-C et al 2018¹ iba dirigido a jugadores de baloncesto, baseball y tchoukball. Otra diferencia es la duración de la intervención, siendo 4 semanas (con 2 g/día y entrenamiento complejo), efecto crónico, más 6 días de precarga de creatina (20 g/día) en el artículo de Wang C-C et al 2018¹ y en el artículo de Wang C-C et al 2017⁶, un periodo de 6 días (a corto plazo) con una dosis de 20 g creatina/día y el entrenamiento complejo solo se realizó antes y después de la suplementación, no durante. Ambos estudios tuvieron los mismos resultados después de la suplementación con creatina, aumentaron la fuerza muscular máxima en HRE y redujeron el daño muscular. En el estudio de Wang C-C et al 2018¹ obtuvieron más resultados ergogénicos, pero fue debido al entrenamiento complejo llevado a cabo durante las 4 semanas, no a la suplementación.

II. CAPÍTULO 4. CAFEÍNA

La cafeína y productos cafeinados son muy comúnmente utilizados en el mundo del deporte ya que están disponibles en el mercado a un precio bajo³. El mecanismo de acción más común de los efectos estimulantes de la cafeína es que la cafeína actúa sobre el sistema nervioso central, actuando a través del bloqueo de los receptores centrales y periféricos de adenosina

El estudio de Puente C et al, 2017³ se realizó en 20 jugadores de baloncesto expertos de dos equipos diferentes, 10 varones y 10 mujeres. Tomando 3 mg cafeína/kg BM o celulosa (como placebo), en una cápsula opaca e inidentificable. Después de 60 minutos de haber ingerido el suplemento, los participantes realizaron las pruebas, para así dar tiempo a completar la absorción de cafeína. Se les

instruyó a los sujetos de no tomar medicamentos y abstenerse de tomar productos con cafeína tales como café, cola, bebidas energéticas durante todo el periodo experimental.

Previo a la prueba se tomaron las medidas antropométricas de los participantes. Hubo una semana de descanso entre los dos ensayos experimentales (uno con el grupo experimental con ingesta de cafeína y el otro con el grupo placebo), para permitir la recuperación completa y el lavado corporal de cafeína. El experimento se llevó a cabo siempre en las mismas condiciones, misma hora, misma indumentaria y mismas condiciones ambientales. Se les puso un arnés con dispositivo GPS, acelerómetro y medidor de HR. Los participantes calentaron durante 30 minutos y estiraron, a posteriori empezaron la prueba.

El test consistía en 10 repeticiones de la siguiente secuencia: salto Abalakov, cambio de dirección, CODAT (test de aceleración; 5 primeras sin pelota, 5 últimas con pelota) y dos tiros libres. Los sujetos practicaron esta secuencia durante la semana anterior del ensayo experimental. Veinte minutos después del test, los jugadores participaron en un partido de baloncesto simulado, con 2 partes de 10 minutos y 2 minutos de descanso. Después se analizó cada acción del juego y se calculó el índice de rendimiento con esta ecuación: $[(\text{puntos} + \text{rebotes totales} + \text{asistencias} + \text{robos} + \text{bloqueos cometidos} + \text{faltas recibidas}) - (\text{faltas de tiros} + \text{pérdida de balón} + \text{faltas cometidas})]$. El acelerómetro facilitó los datos de impacto del jugador, se midieron con unidades de fuerza "G". Después del partido simulado, los participantes rellenaron un cuestionario sobre las sensaciones percibidas durante el juego (fuerza, resistencia, esfuerzo percibido en general), y al día siguiente rellenaron una encuesta sobre la calidad del sueño, nerviosismo, problemas GI, incomodidades, etc.

Después de los 2 ensayos (CAF y PLA) con una semana de descanso en medio, los autores del estudio obtuvieron los siguientes resultados, en comparación con el placebo, la ingesta de cafeína aumentó la altura media alcanzada del salto Abalakov, pero no cambió el tiempo medio promedio de la prueba CODAT (sprint) (Figura 6).

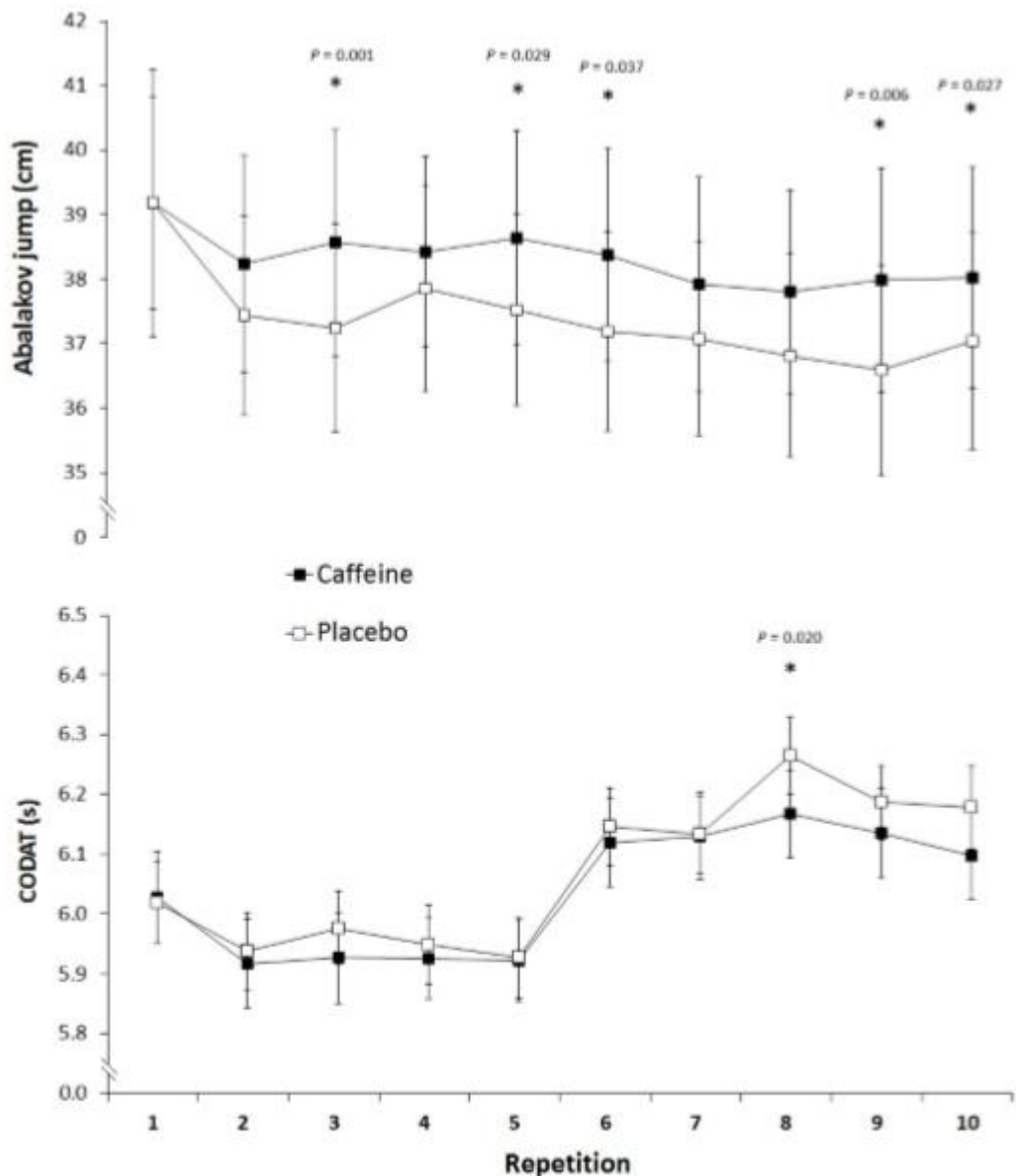


Figure 1. Jump height during 10 repetitions of the Abalakov jump (upper panel) and running time during 10 repetitions of the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT; lower panel) with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are the mean \pm standard deviation for 20 basketball players. (*) Different from placebo ($p < 0.05$).

Figura 6. Altura del salto durante 10 repeticiones del salto Abalakov (figura de arriba) y el tiempo del sprint de 10 repeticiones del cambio de dirección y CODAT.

Figura del artículo de Puente C et al, 2017³.

Después del análisis del juego simulado, pudieron percibir que la toma de cafeína aumentó significativamente el número total de impactos en Zona 1 ($Zona 1 \leq 0.99 G$) por minuto pero no afectó la frecuencia cardíaca media ni FC máxima (Figura 7).

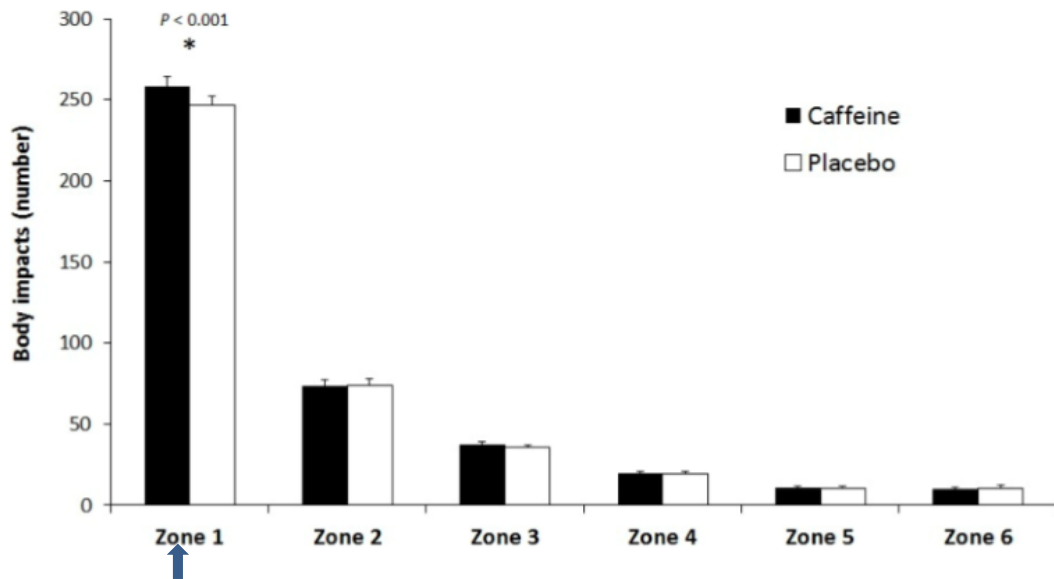


Figure 2. Number of impacts per minute during a simulated basketball game with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are mean \pm standard deviation for 20 basketball players. Zone 1 ≤ 0.99 G; Zone 2 from 1.00 to ≤ 1.99 G; Zone 3 from 2.00 to ≤ 2.99 G; Zone 4 from 3.00 to ≤ 3.99 G; Zone 5 from 4.00 to ≤ 4.99 G; Zone 6 ≥ 5.00 G. (*) Different from placebo ($p < 0.05$).

Figura 7. Numero de impactos por minuto durante un partido simulado de baloncesto con la ingesta de cafeína o placebo.

Figura del artículo de Puente C et al, 2017³.

Después del juego simulado, con suplementación de cafeína, se observó un aumento significativo del número de tiros libres intentados y logrados, del número de rebotes ofensivos y rebotes totales y del número de asistencias. El índice de rendimiento también mejoró significativamente (Tabla 12).

Tabla 12. Estadísticas relacionadas con el partido, con la ingesta de cafeína o placebo.

Table 1. Game-related statistics with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are mean \pm standard deviation for 20 basketball players.

Variable	Placebo	Caffeine	Diff.	95% CI	Effect Size	p Value
Points	8.2 \pm 6.9	8.8 \pm 6.1	0.6 \pm 7.0	-2.7 to 3.9	0.09	0.354
2-point field goals made	2.5 \pm 2.4	2.7 \pm 2.6	0.2 \pm 3.2	-1.2 to 1.7	0.10	0.365
2-point field goals attempted	3.8 \pm 3.0	4.5 \pm 3.3	0.7 \pm 4.1	-1.2 to 2.7	0.25	0.213
Accuracy in 2-point field goals (%)	54.7 \pm 30.5	52.9 \pm 37.2	-1.8 \pm 50.2	-28.5 to 25.0	0.05	0.446
3-point field goals made	0.9 \pm 1.2	0.8 \pm 1.1	-0.1 \pm 1.1	-0.7 to 0.4	0.19	0.273
3-point field goals attempted	2.8 \pm 2.1	2.4 \pm 2.3	-0.4 \pm 2.1	-1.3 to 0.6	0.17	0.228
Accuracy in 3-point field goals (%)	27.4 \pm 31.5	23.7 \pm 27.5	-3.7 \pm 33.4	-21.5 to 14.1	0.11	0.333
Free throws made	0.6 \pm 0.8	1.1 \pm 1.1*	0.5 \pm 1.2	0.1 to 1.0	0.67	0.030
Free throws attempted	0.9 \pm 1.1	1.5 \pm 1.5*	0.6 \pm 1.6	0.0 to 1.3	0.57	0.042
Accuracy in free throws (%)	71.4 \pm 40.5	73.8 \pm 20.7	2.3 \pm 39.9	-34.5 to 39.3	0.18	0.440
Offensive rebounds	0.5 \pm 0.6	1.2 \pm 1.6*	0.7 \pm 1.4	0.2 to 1.2	1.16	0.020
Defensive rebounds	2.1 \pm 1.7	2.6 \pm 1.8	0.5 \pm 2.1	-0.5 to 1.5	0.30	0.146
Total rebounds	2.5 \pm 2.0	3.7 \pm 2.6*	1.2 \pm 2.7	0.2 to 2.3	0.64	0.026
Assists	1.1 \pm 0.9	2.1 \pm 1.6*	1.0 \pm 2.0	0.2 to 1.8	1.10	0.019
Steals	0.9 \pm 1.1	1.2 \pm 1.3	0.4 \pm 1.6	-0.5 to 1.0	0.23	0.240
Turnovers	1.7 \pm 1.5	1.7 \pm 1.3	0.0 \pm 2.1	-1.0 to 1.0	0.08	0.500
Blocks committed	0.0 \pm 0.0	0.1 \pm 0.3	0.1 \pm 0.3	-0.1 to 0.2	0.22	0.081
Blocks received	0.1 \pm 0.3	0.0 \pm 0.0	-0.1 \pm 0.3	-0.2 to 0.1	0.32	0.081
Fouls committed	1.3 \pm 1.0	1.0 \pm 0.9	0.3 \pm 1.1	-0.3 to 0.8	0.22	0.165
Fouls received	1.0 \pm 0.9	1.3 \pm 1.0	-0.3 \pm 1.3	-0.8 to 0.4	0.20	0.253
Performance index rating	8.4 \pm 8.3	11.6 \pm 7.3*	3.2 \pm 8.0	0.1 to 6.2	0.38	0.037

(*) Different from placebo ($p < 0.05$). Diff. = mean difference Caffeine - Placebo. 95% CI = 95% Confidence Interval for the mean difference.

Tabla del artículo de Puente C et al, 2017³.

A través de los distintos cuestionarios realizados a los participantes los autores pudieron valorar que hubo un aumento significativo en la potencia muscular autopercebida durante la prueba, con la toma de cafeína. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la fatiga percibida o en la percepción de resistencia por los deportistas. Durante las 24 horas siguientes a la prueba, los sujetos mostraron una prevalencia de insomnio más elevada al consumir cafeína. El resto de efectos secundarios fueron similares en ambos ensayos experimentales.

A posteriori los autores del estudio concluyeron que estos resultados sugieren que una dosis de 3 mg cafeína /kg BM tomada antes del ejercicio (efecto agudo), podría considerarse una ayuda ergogénica para el aumento del rendimiento físico en baloncesto, sin ninguna influencia en la precisión de los tiros a canasta. Aunque esta dosis puede provocar efectos secundarios en las horas siguientes a la ingesta de cafeína, mayoritariamente relacionadas con trastornos del sueño.

En el artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸ los 21 participantes, mujeres y hombres entrenados en ejercicios resistencia, realizaron una sesión de entrenamiento para familiarizarse con los ejercicios que se harían en la prueba. La prueba consistía en 3 sesiones de ejercicios idénticos, con 5-7 días de separación entre ellas, con la única diferencia que una era con la toma previa de un suplemento comercial con cafeína (CAF), otra con un suplemento comercial sin cafeína (NC) y otra con placebo (PLA), en orden aleatorio. El suplemento con cafeína y el de sin cafeína eran dos suplementos con varios ingredientes, disponibles de forma comercial. El suplemento con cafeína contenía 300 mg de cafeína anhidra por ración y obviamente los otros dos no contenían cafeína. El suplemento era en forma de bebida e inidentificable físicamente ni de gusto. La ingesta de CAF no era individualizada, pero si se hizo una media de la ingesta de cafeína por kg de masa corporal, calculándola con la masa corporal media de las mujeres y de los hombres por separado. La media de cafeína por kg BM consumida en los 9 hombres del estudio fue de 4 mg cafeína/kg BM y para las 12 mujeres, 3.6 mg/kg BM. El consumo diario de cafeína es menor en las mujeres ya que se hizo una reducción del 25% de la toma del suplemento por motivos de la menor masa corporal en el sexo femenino comparado con el masculino. Los varones tomaron el 100% de la ración, las mujeres el 75% de una ración. El suplemento se ingirió 30 minutos antes del inicio de la prueba. Pero antes de la suplementación los participantes completaron unas escalas analógicas visuales (VAS) evaluando su energía, fatiga y concentración, es decir, son medias subjetivas. Se proporcionó los suplementos a los participantes, se lo tomaron en 3 minutos y después de los 30 minutos de espera se volvió a repetir el VAS, a posteriori un pequeño calentamiento de 5 min y empezó la prueba con 3 repeticiones de sentadillas con fuerza máxima (4 seg movimiento excéntrico, pausa de ½ seg a 90° y 4 seg de fase concéntrica) y después de 2 min de descanso, los sujetos realizaron 5 sesiones de 6 repeticiones de sentadillas, ejercicio isocinético (las sentadillas se realizaron usando un dispositivo monitorizado), con 2 min de descanso

entre sesiones, en el cual se repetía cada vez el VAS y además, también tuvieron que proporcionar sus “repeticiones en reserva” (RIR), indicando cuantas repeticiones más creían que podían haber realizado. Después, RIR se convirtió en RPE (calificación del esfuerzo percibido).

El suplemento con cafeína y el ausente en cafeína no superaron al placebo en cuanto a resultados aunque puede haber habido una pequeña mejora en la fuerza concéntrica, producida en hombres. La fuerza producida en la condición NC fue aproximadamente un 9% mejor que PLA en varones, pero entre 0 y 1.5% menor que PLA en mujeres. En C, la producción de fuerza tanto en hombres como en mujeres fue de 5 a 11% mejor que PLA, indicando que los hombres produjeron mayor fuerza que las mujeres, a pesar de que no fuera estadísticamente significativo (Figura 8).

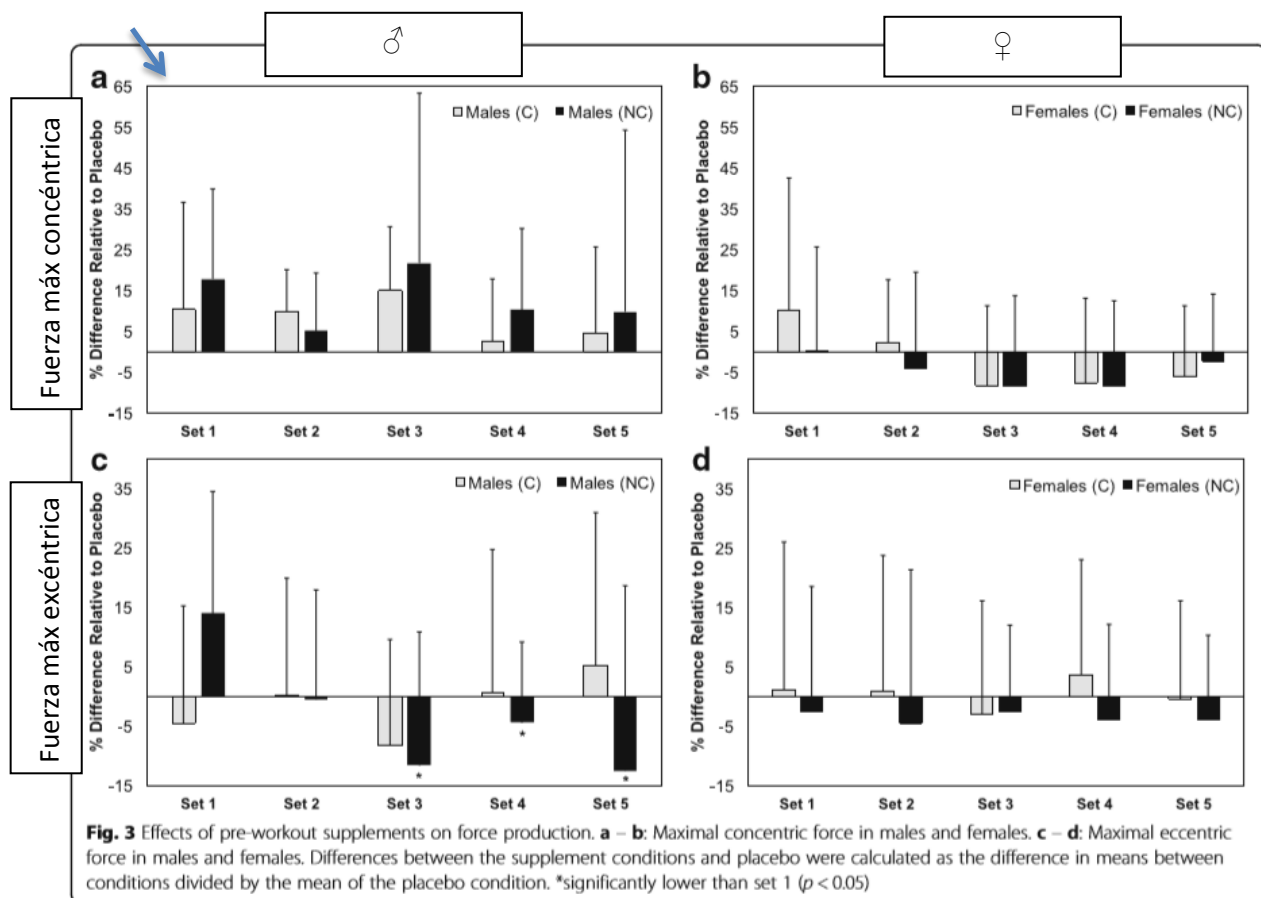


Figura 8. Efectos del suplemento antes del ejercicio en la producción de fuerza.

Figura del artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸.

No se observaron diferencias significativas en la producción de fuerza entre las distintas condiciones. En los hombres, la fuerza excéntrica máxima fue menor durante las últimas sesiones (3, 4 y 5) de la condición NC comparado con la primera sesión. Puede que la gran fuerza producida en la 1ª sesión haya provocado este efecto en las últimas sesiones. La fuerza concéntrica máxima en la 4ª sesión fue menor que en la 1ª. No hubo otras diferencias (Tabla 13).

Tabla 13. Producción de fuerza durante la sesión de ejercicios.

Table 4 Force production during exercise session

	Condition	Sex	Exercise Sets					<i>p</i> values for 3-way ANOVA with repeated measures						
			Set 1	Set 2	Set 3	Set 4 ^a	Set 5	Supplement	Time	Sex	Supplement x Time	Supplement x Sex	Time x Sex	Supplement x Time x Sex
Maximal Concentric Force (N)	P	M	1449 ± 381	1395 ± 356	1328 ± 328	1321 ± 381	1466 ± 471	0.51	0.003*	0.26	0.31	0.08	0.17	0.53
		F	1303 ± 466	1312 ± 418	1407 ± 556	1342 ± 547	1313 ± 540							
	NC	M	1708 ± 463	1466 ± 333	1616 ± 601	1457 ± 380	1609 ± 459							
		F	1303 ± 345	1261 ± 318	1288 ± 482	1231 ± 338	1283 ± 376							
	C	M	1601 ± 488	1531 ± 419	1528 ± 381	1354 ± 360	1534 ± 468							
		F	1437 ± 409	1343 ± 374	1290 ± 354	1240 ± 276	1234 ± 328							
Maximal Eccentric Force (N)	P	M	1782 ± 563	1704 ± 591	1738 ± 724	1639 ± 707	1571 ± 613	0.63	0.001*	0.17	0.006*	0.93	0.005*	0.01*
		F	1428 ± 237	1412 ± 371	1469 ± 376	1366 ± 405	1414 ± 415							
	NC	M	2032 ± 590	1696 ± 679	1535 ± 551*	1567 ± 546*	1375 ± 562*							
		F	1391 ± 244	1348 ± 264	1431 ± 282	1312 ± 331	1358 ± 327							
	C	M	1700 ± 518	1706 ± 566	1594 ± 560	1651 ± 624	1652 ± 480							
		F	1444 ± 338	1427 ± 323	1425 ± 370	1415 ± 357	1408 ± 379							

^aconcentric force production during set 4 was lower than set 1 (*p* = 0.02)

*significantly different than other conditions, as indicated by significant pairwise comparisons (*p* < 0.05)

Tabla del artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸.

Las respuestas subjetivas durante la prueba fueron parecidas en todas las condiciones. Las sensaciones de energía y concentración aumentaron después de la ingesta del suplemento y fueron disminuyendo conforme avanzaban las sesiones de ejercicio, mientras que la fatiga disminuyó inmediatamente después de la toma del suplemento, y después de eso, la fatiga y RPE fueron aumentando progresivamente. Los participantes no fueron informados de la presencia de un placebo, así que podría ser por una influencia psicológico, lo que se llama efecto placebo (Figura 9).

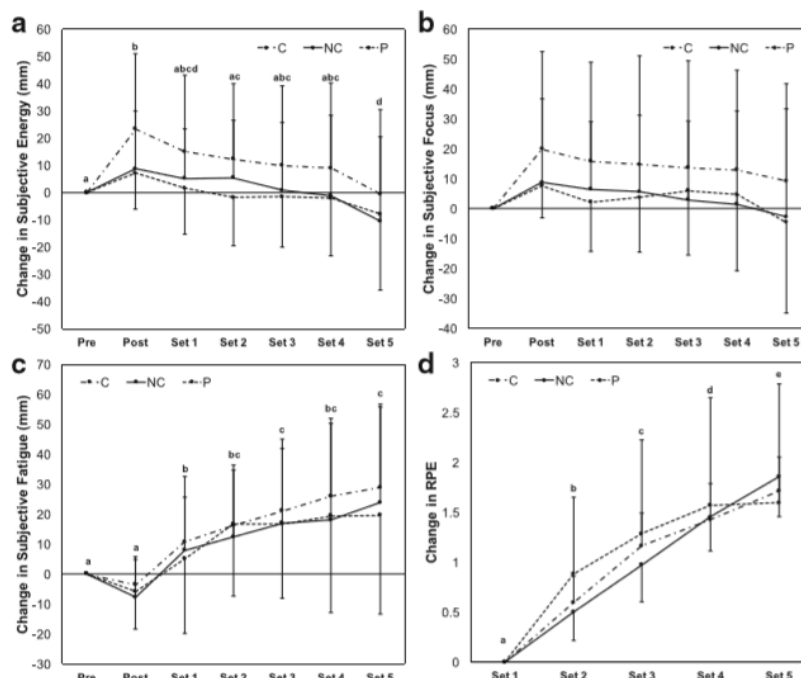


Fig. 2 Subjective measures. **a – c:** Changes in subjective energy (**a**), focus (**b**) and fatigue (**c**) were assessed as the difference between visual analog scale scores between baseline and subsequent measurements. **d:** Ratings of perceived exertion were assessed after each exercise set using the repetitions-in-reserve method. Pre and post designations refer to pre-supplementation and post-supplementation assessments. A significant time main effect was present, and time points with different letter designations are significantly different from each other (*p* < 0.05)

Figura 9. Medidas subjetivas. Efectos antes, después suplementación y sesiones ejercicio.

Figura del artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸.

Después de examinar el efecto de dos suplementos, disponibles comercialmente, en la producción de fuerza concéntrica y excéntrica durante ejercicios de resistencia del tren inferior, los resultados pueden subestimar el efecto ergogénico, como se utiliza normalmente. Debido a la variedad de ingredientes (entre ellos creatina y beta-alanina) de los suplementos comerciales fue imposible manifestar definitivamente qué compuestos fueron responsables de los resultados observados. Es incompatible hacer una recomendación concluyente con respecto a este uso. Los suplementos (C y NC) no aventajaron al placebo, solo hubo una pequeña mejora en la fuerza concéntrica realizada en hombres. Puede que hubiera habido un efecto placebo en la mejora del rendimiento, percibido por las sensaciones de energía y fatiga. La influencia del poder psicológico combinado con posibles beneficios fisiológicos, puede que contribuya en la efectividad de ciertos suplementos.

Si comparamos el artículo de Puente C et al, 2017³ con el de artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸ observamos que la principal diferencia es que en el artículo de Puente C et al, 2017³ la dosis de cafeína es individualizada, con 3 mg cafeína/kg masa corporal, y la ingesta se realiza 60 minutos antes del ejercicio. En cambio, en el de artículo de Tinsley GM et al, 2017⁸ la dosis de cafeína es de 300 mg por ración del suplemento comercial multi-ingredientes con cafeína, y se ingiere 30 minutos antes de la realización del ejercicio. Y además, cuenta con un suplemento sin cafeína a parte del placebo, siendo así, 3 diferentes grupos, 2 experimentales y un placebo. También tienen diferentes diseños experimentales, ya que el estudio de Puente C et al, 2017³ consta de una parte con la ejecución de diferentes ejercicios típicos del deporte de baloncesto (como saltos, sprint y tiros libres) y una segunda parte que es un partido simulado de menor duración que lo habitual. Y en el estudio de Tinsley GM et al, 2017⁸ consta de la repetición de 3 sesiones, separadas por 5-7 días cada una de ellas, con el mismo protocolo de ejercicios (sentadillas de fuerza máxima concéntrica y excéntrica), medidas e ingesta del suplemento, pero cada uno de ellos con la ingesta de un suplemento diferente (C, NC y P). En cuanto a los resultados, el estudio de Puente C et al, 2017³ manifiesta que con la dosis individualizada de 3 mg cafeína/kgBM, se podría considerar una ayuda ergogénica efectiva en mejorar el rendimiento físico y general en jugadores de baloncesto profesionales (después del juego simulado, se percibió un aumento significativo del número de tiros libres intentados y logrados, del número de rebotes ofensivos y rebotes totales y del número de asistencias, y el índice de rendimiento también mejoró significativamente), pero sin mejoras en tiros a canasta ni sprint. El único inconveniente fue el posible efecto secundario sobre el sueño, después de tomar el suplemento. Y en cambio, en el estudio de Tinsley GM et al, 2017⁸ ni el suplemento con cafeína ni el “sin cafeína” superaron al placebo en resultados, aunque pudo haber habido una pequeña mejora en la fuerza concéntrica, producida solo en hombres, solo los parámetros subjetivos de los participantes mejoraron, pero supuestamente fue debido a un “efecto placebo” ya que aumentaron en los tres ensayos, con cafeína, sin cafeína y el control. Así que es imposible hacer una recomendación de uso de suplementos en este estudio.

III. CAPÍTULO 5. ZUMO DE REMOLACHA

El zumo de remolacha está entre los alimentos con mejor fuente de nitrato y debido a eso se puede utilizar como ayuda ergogénica, ya que el nitrato inorgánico (NO_3^-) es precursor del óxido nítrico (NO), esto significa que las altas cantidades de NO_3^- presentes en el zumo de remolacha son capaces de aumentar los niveles de NO en el organismo^{17,4}.

Conversión de la ingesta de NO_3^- a NO ¹⁷ (Figura 10).

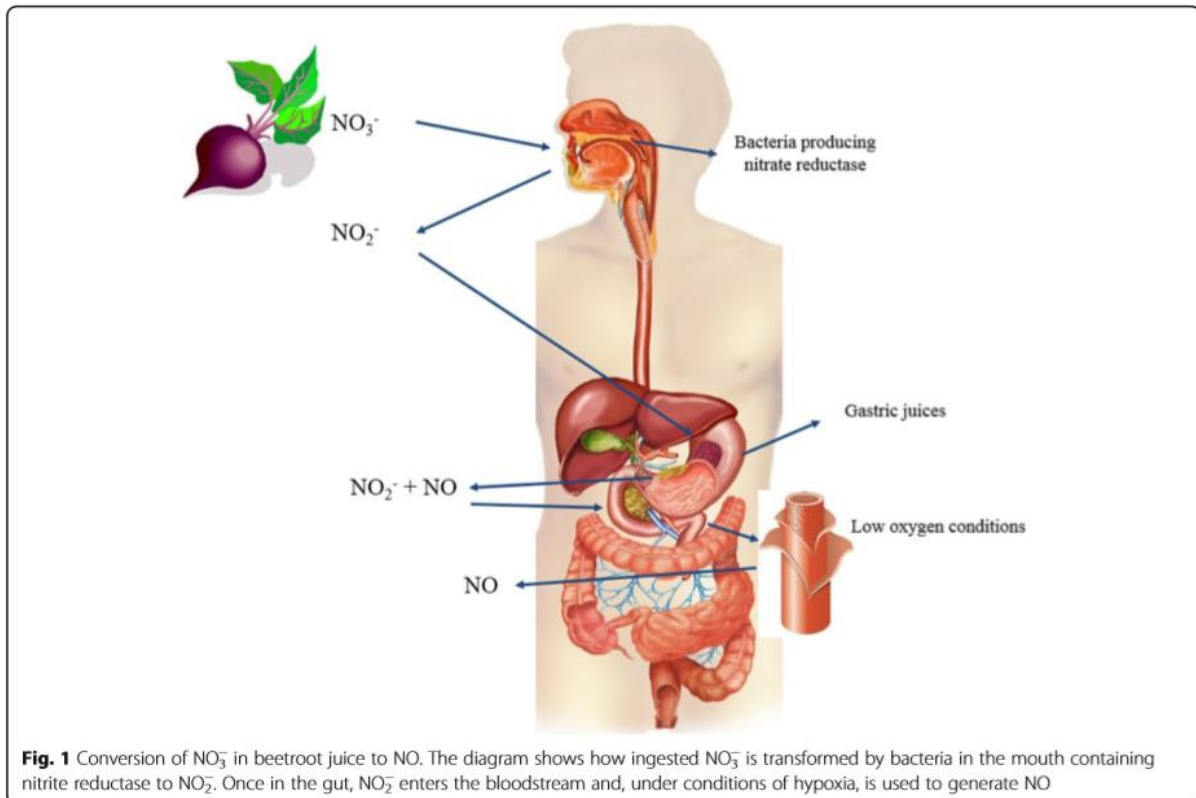


Figura 10. Conversión de NO_3^- del zumo de remolacha a NO.

Figura del artículo de Domínguez R et al, 2018¹⁷.

NO tiene un efecto vasodilatador sobre las fibras musculares lisas¹⁷. Dicha vasodilatación aumenta el flujo sanguíneo hacia las fibras musculares favoreciendo el intercambio gaseoso^{17,4}. Así pues, este efecto podría favorecer un metabolismo energético oxidativo¹⁷. El efecto del aumento del flujo sanguíneo inducido por NO es específico de las fibras musculares tipo II¹⁷. En este tipo de fibras el zumo de remolacha podría mejorar la liberación y posterior recaptación de calcio del retículo sarcoplasmático¹⁷. Eso podría suponer un aumento en la producción de fuerza de estas fibras tipo II¹⁷. Los ejercicios que involucran fibras musculares tipo II son por ejemplo esfuerzos intermitentes de alta intensidad¹⁷.

El estudio experimental llevado a cabo por Nyakayiru J et al, 2017⁴ se realizó sobre 40 jugadores de fútbol entrenados, de los cuales 8 fueron expulsados de la intervención, quedando así un total de 32 futbolistas. El experimento consistió en 2 periodos de 6 días, uno con suplementación de zumo de remolacha rico en nitrato (BJ) y el otro periodo con zumo de remolacha sin nitratos (PLA). La dosis diaria de suplemento (en el grupo experimental) era de 800 mg nitrato/día (ó 12.9 mmol NO₃⁻/día) en 140 ml de zumo de remolacha, dividido en 2 veces al día (2*70 ml/día), consumido 3 horas antes de la prueba. Los sujetos, durante el periodo experimental, se abstuvieron de consumir cafeína durante las 24 horas antes de las 2 pruebas, de realizar ejercicio físico vigoroso durante las 48 horas antes de la prueba y de usar pasta de dientes o enjuague bucal antibacteriano y chicles. El día de la prueba todos los sujetos tomaron una comida estandarizada, 3.5 horas antes del test.

Los participantes realizaron una prueba de recuperación intermitente nivel 1 Yo-Yo (IR1), que es un tipo de test (rendimiento de carrera intermitente de alta intensidad) que se propone frecuentemente para simular las actividades específicas de un jugador de fútbol, pero en una escena controlada. Esta prueba se basa en la ejecución de una carrera intermitente de alta intensidad, con repetidas veces 2 sprint de 20 m, incrementando la velocidad progresivamente con el estímulo de pitidos. Justo al terminar la prueba los participantes calificaron el esfuerzo que habían percibido durante este test, en una escala de Borg 6-20.

La pruebas comenzaron con recolección de muestras de sangre y de saliva para determinar la concentración de nitrito (NO₂⁻) y nitrato (NO₃⁻) antes del ejercicio (2.5 h después de la última toma de 140 ml de BJ). Los participantes después rellenaron un cuestionario de tolerancia gastrointestinal GI. Y finalmente se ajustó un monitor de frecuencia cardíaca (FC) antes de que empezaran a calentar y posteriormente realizaran la prueba Yo-Yo IR1. Las muestras de sangre y saliva, el cuestionario GI y la colocación del monitor FC se realizaron después del último bolo de suplemento y antes de la realización de la prueba IR1.

Una vez finalizado los ensayos (2 periodos de 6 días respectivamente) se combinaron los resultados y se observó que en el test Yo-Yo IR1 mejoró el rendimiento (incrementó la media de la distancia recorrida), es decir, realizar una carrera de forma intermitente y de alta intensidad mejoró siguiendo la ingesta de BJ (rico en nitrato) comparado con PLA (BJ sin nitratos) (Figura 11).

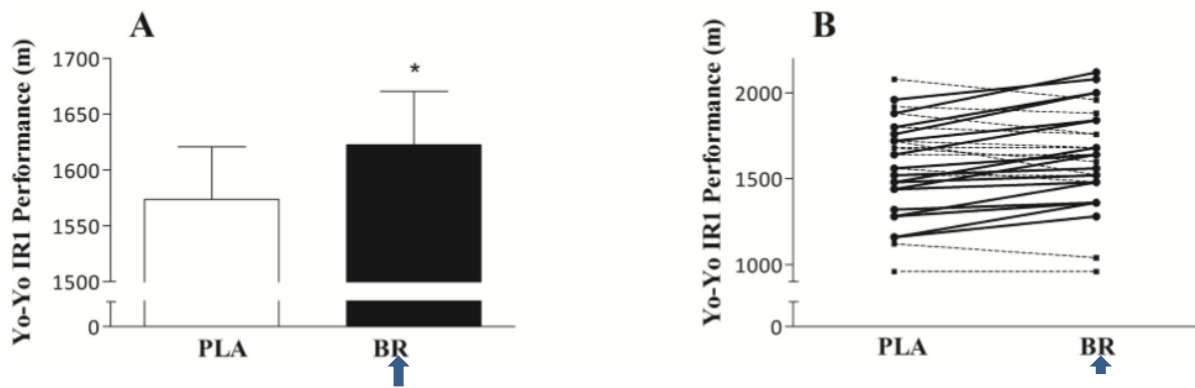


Figure 2. Mean distance covered during the Yo-Yo IR 1 test (A), and the individual response (B) following 6 days of placebo (PLA) and 6 days of nitrate-rich beetroot juice (BR) ingestion. * Distance covered following BR was significantly greater (3.4%) than that covered following PLA ingestion ($p = 0.027$). Solid lines (-) indicate subjects that showed an improved performance following BR ingestion ($n = 18$). Dashed lines (- -) indicate subjects that showed a similar performance ($n = 4$) following BR or PLA ingestion, or subjects that showed a worse ($n = 10$) performance following BR ingestion.

Figura 11. Distancia media recorrida durante la prueba Yo-Yo IR1 (A), y la respuesta individual (B) durante 6 días con ingesta de BJ o placebo.

Figura del artículo de Nyakayiru J et al, 2017⁴.

La frecuencia cardíaca máxima no difirió entre las pruebas, aunque la FC media fue más baja en BJ, durante la prueba, comparado con PLA. Los sujetos toleraron bien la bebida, el malestar GI no difirió entre las intervenciones. Y la calificación del esfuerzo percibido (escala de Borg) tampoco fue diferente entre ensayos (Tabla 14).

Tabla 14. Frecuencia cardíaca y tasa de esfuerzo percibido.

Table 1. Heart rate data and Rate of perceived exertion.

Variable	PLA	BR
➡ Mean heart rate (bpm)	175 ± 2	172 ± 2 *
30-sec max heart rate (bpm)	191 ± 1	190 ± 1
RPE (Borg score)	17.6 ± 0.3	17.3 ± 0.4

All values are means ± SEM ($n = 25$ for HR and $n = 32$ for RPE). * Significantly different from PLA ($p < 0.05$).

Tabla del artículo de Nyakayiru J et al, 2017⁴.

La ingesta de BJ durante 6 días, resultó en una mayor concentración de nitrato y de nitrito comparado con PLA, tanto en plasma como en saliva (Figura 12).

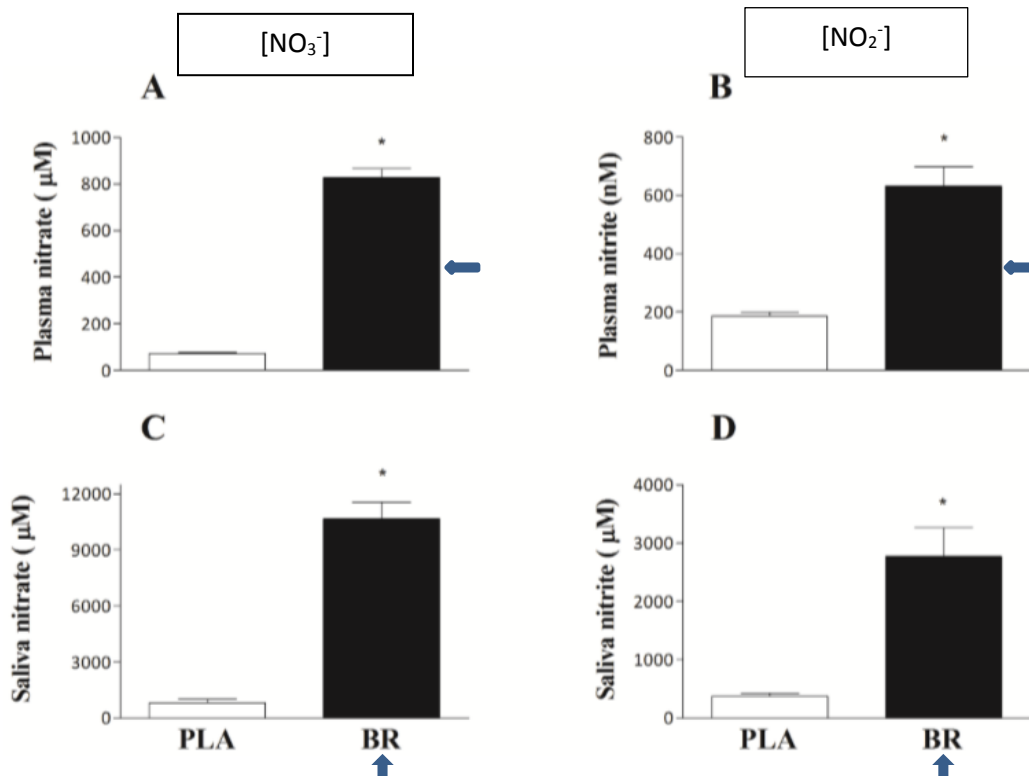


Figure 1. Mean plasma nitrate (A) and nitrite (B), and saliva nitrate (C) and nitrite (D) concentrations ~2.5 h after ingestion of the final supplemental bolus for the placebo (PLA) and the six-day nitrate-rich beetroot juice (BR) intervention. Data are means \pm SEM ($n = 32$). * BR significantly different from PLA ($p < 0.001$).

Figura 12. Concentración media de nitrato en plasma (A), nitrito en plasma (B), y nitrato en saliva (C) y nitrito en saliva (D). 2.5 h después de haberse tomado la última dosis de BJ y placebo.

Figura del artículo de Nyakayiru J et al, 2017⁴.

Después de todos estos resultados los autores concluyeron que este estudio demuestra que 6 días con la suplementación de zumo de remolacha rico en nitratos, mejora el rendimiento del tipo de ejercicio intermitente de alta intensidad en jugadores de fútbol entrenados. Estas mejoras del rendimiento deportivo fueron acompañadas por una frecuencia cardíaca media menor durante el ejercicio intermitente de alta intensidad y fue precedido por el aumento de la concentración de nitrato y de nitrito, en plasma y en saliva.

En el estudio realizado por Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ se analizaron los efectos, durante 15 días consecutivos, con suplementación de zumo de remolacha (BJ) en 12 corredores de elite de media y larga distancia. Los participantes se dividieron en grupo placebo (PLA) y grupo experimental (BJ). El grupo experimental ingirió 6.5 mmol NO_3^- /día en 70 ml de BJ (con alto contenido en nitratos), en los desayunos. Los sujetos realizaron una prueba que consistía en una carrera incremental hasta el agotamiento, efectuado en una cinta de correr, antes y después de los 15 días de suplementación. Los corredores empezaron con 3 minutos de calentamiento a 10 km/h, después la velocidad fue

aumentando en 0.2 km/h cada 12 segundos hasta el agotamiento. La cinta tenía una inclinación del 1%. Había 3 estados de estabilización de la velocidad durante 3 minutos cada uno, uno al alcanzar los 15 km/h, otro a los 17.1 km/h y el último a los 20 km/h. Esta prueba se realizó antes de la toma del suplemento, y pasados los 15 días de suplementación, se repitió después de 24 horas de la última toma de BJ del 15° día. Esta prueba se llevó a cabo en una cinta de correr computarizada para poder calcular el VO_2 max de cada sujeto y medir la economía de carrera a diferentes velocidades. Se analizaron los gases espirados con un analizador de gases de la respiración y también las respuestas del corazón fueron continuamente monitoreadas con un ECG. También se registró la saturación de oxígeno muscular (SmO_2) (la oxigenación del músculo) durante la prueba, concretamente del vasto externo del músculo cuádriceps con un dispositivo infrarrojo. También se calculó la rigidez de las piernas durante el primer minuto de los 3 estados de estabilización de la velocidad y se registró el valor medio. Al estar finalizando (los últimos 10 seg) cada estado de estabilización de la velocidad, se les pidió a los participantes que calificaran su esfuerzo percibido (RPE) en una escala de 1-10.

Al finalizar el ensayo experimental, los participantes del grupo BJ reflejaron una mejora poco clara en la frecuencia cardíaca (FC) y en la economía de carrera representada en VO_2 en comparación con PLA. Además, no difirieron substancialmente los cambios en el VO_2 max en el grupo BJ con respecto a PLA, después de la etapa de suplementación. No obstante, se manifestaron mejoras de probables a muy probables en la tasa de esfuerzo percibido (RPE), en la saturación de oxígeno muscular (SmO_2) y en el tiempo de agotamiento (TTE). Por último, no hubo mejoras substanciales en la rigidez de las piernas.

Tabla 15. Valores medios y desviación estándar para los grupos experimental y placebo antes y después del periodo de suplementación.

Table 2. Mean values and standard deviations for the experimental and placebo groups before (Pre) and after (Post) the supplementation period.

	Experimental group		Placebo group	
	Pre	Post	Pre	Post
<i>Biomechanical parameters</i>				
Leg stiffness (kN/m)				
15 km/h	7.9 ± 0.9	8.6 ± 1.4	8.4 ± 1.2	8.5 ± 1.4
17.1 km/h	8.5 ± 1.2	8.7 ± 1.2	7.9 ± 1.1	8.3 ± 1.3
20 km/h	8.9 ± 0.8	9.2 ± 1.3	7.5 ± 1.0	8.1 ± 0.8
<i>Physiological parameters</i>				
RE (ml*kg ⁻¹ *min ⁻¹)				
15 km/h	50.8 ± 3.5	52.6 ± 2.8	52.3 ± 3.3	53.7 ± 3.8
17.1 km/h	58.3 ± 2.7	60.4 ± 2.3	60.1 ± 3.8	62.1 ± 3.3
20 km/h	67.3 ± 4.4	69.5 ± 2.9	70.5 ± 5.1	71.4 ± 4.8
RER				
15 km/h	0.87 ± 0.02	0.83 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.87 ± 0.01
17.1 km/h	0.93 ± 0.02	0.90 ± 0.03	0.96 ± 0.02	0.94 ± 0.02
20 km/h	1.03 ± 0.01	0.97 ± 0.04	1.07 ± 0.03	1.03 ± 0.03
HR (bpm)				
15 km/h	147.2 ± 13.7	146.9 ± 11.2	157.3 ± 10.0	151.4 ± 12.4
17.1 km/h	160.6 ± 12.2	157.3 ± 9.2	168.1 ± 8.1	165.9 ± 7.1
20 km/h	164.2 ± 19.1	168.4 ± 11.4	164.6 ± 21.1	177.1 ± 4.6
SmO ₂ (%)				
15 km/h	41.7 ± 7.1	47.7 ± 3.9	46.6 ± 15.5	43.7 ± 5.9
17.1 km/h	34.4 ± 3.5	41.0 ± 2.0	38.2 ± 16.4	37.8 ± 5.2
20 km/h	24.4 ± 2.8	31.0 ± 6.9	26.8 ± 12.1	27.7 ± 4.8
TE _{ex} (s)	1173.0 ± 87.1	1269.0 ± 53.6	1251.0 ± 52.6	1230 ± 73.5
VO ₂ Max (ml*kg ⁻¹ *min ⁻¹)	69.1 ± 5.3	70.1 ± 7.0	72.3 ± 6.8	74.9 ± 6.1
<i>Psychological parameters</i>				
RPE				
15 km/h	2.4 ± 0.5	2.3 ± 0.5	2.4 ± 0.5	3.5 ± 0.8
17.1 km/h	3.8 ± 0.8	4.0 ± 0.8	4.4 ± 0.5	5.6 ± 0.8
20 km/h	6.0 ± 0.7	6.0 ± 1.0	7.2 ± 0.4	7.7 ± 1.0

Abbreviations: RE = running economy; VO₂Max = maximal oxygen consumption; RER = respiratory exchange ratio; TE_{ex} = time to exhaustion; HR = heart rate; SmO₂ = saturation of muscle O₂; RPE = rate of perceived exertion

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200517.t002>

Tabla del artículo de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹.

Tabla 16. Diferencias del antes y después de las variables en las condiciones placebo y experimental.

Table 3. Pre-post differences on the studied variables in the placebo vs experimental conditions.

	SMD (90%CI)	Chances of being beneficial/trivial/harmful	Qualitative inference	% of change (experimental vs placebo)	P
<i>Biomechanical parameters</i>					
Leg stiffness	-0.14 (-0.44, 0.17)	4/61/36	Possibly	2.25 vs 4.64	0.310
<i>Physiological parameters</i>					
RE	0.36 (-0.5, 1.21)	63/24/13	Unclear	7.07 vs 4.5	0.589
VO ₂ Max	0.04 (-0.87, 0.95)	37/31/32	Unclear	4.41 vs. 3.66	1.000
Av_RER	-0.2 (-1.15, 0.74)	50/27/22	Unclear	-4.7 vs. -3.6	1.000
TE _{ex} (s)	1.18 (-0.14, 2.5)	90/6/4	Likely	8.18 vs 1.6	0.310
Av_HR	0.03 (-0.36, 0.42)	22/64/15	Unclear	-0.26 vs. 1.14	0.792
SmO ₂	0.72 (0.03, 1.41)	91/7/2	Likely	17.8 vs. -2.64	0.167
<i>Psychological parameters</i>					
RPE	-2.17 (-3.23, -1.1)	100/0/0	Very likely	-9.0 vs 20.4	0.016

Standardized mean differences (SMD) with 90% Confidence Intervals (CI) express the magnitude of the difference on the pre-post changes between the experimental and placebo groups. Positive values reflect higher increments on the placebo group after the supplementation period, while negative scores reflect lower increments on the experimental group after the supplementation period. P is the asymptotic significance of the Mann-Whitney's U test.

Abbreviations: RE = running economy; VO₂Max = maximal oxygen consumption; Av_RER = average respiratory exchange ratio (whole test); TE_{ex} = time to exhaustion; Av_HR = average heart rate (whole test); SmO₂ = saturation of muscle O₂; RPE = rate of perceived exertion

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200517.t003>

Tabla del artículo de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹.

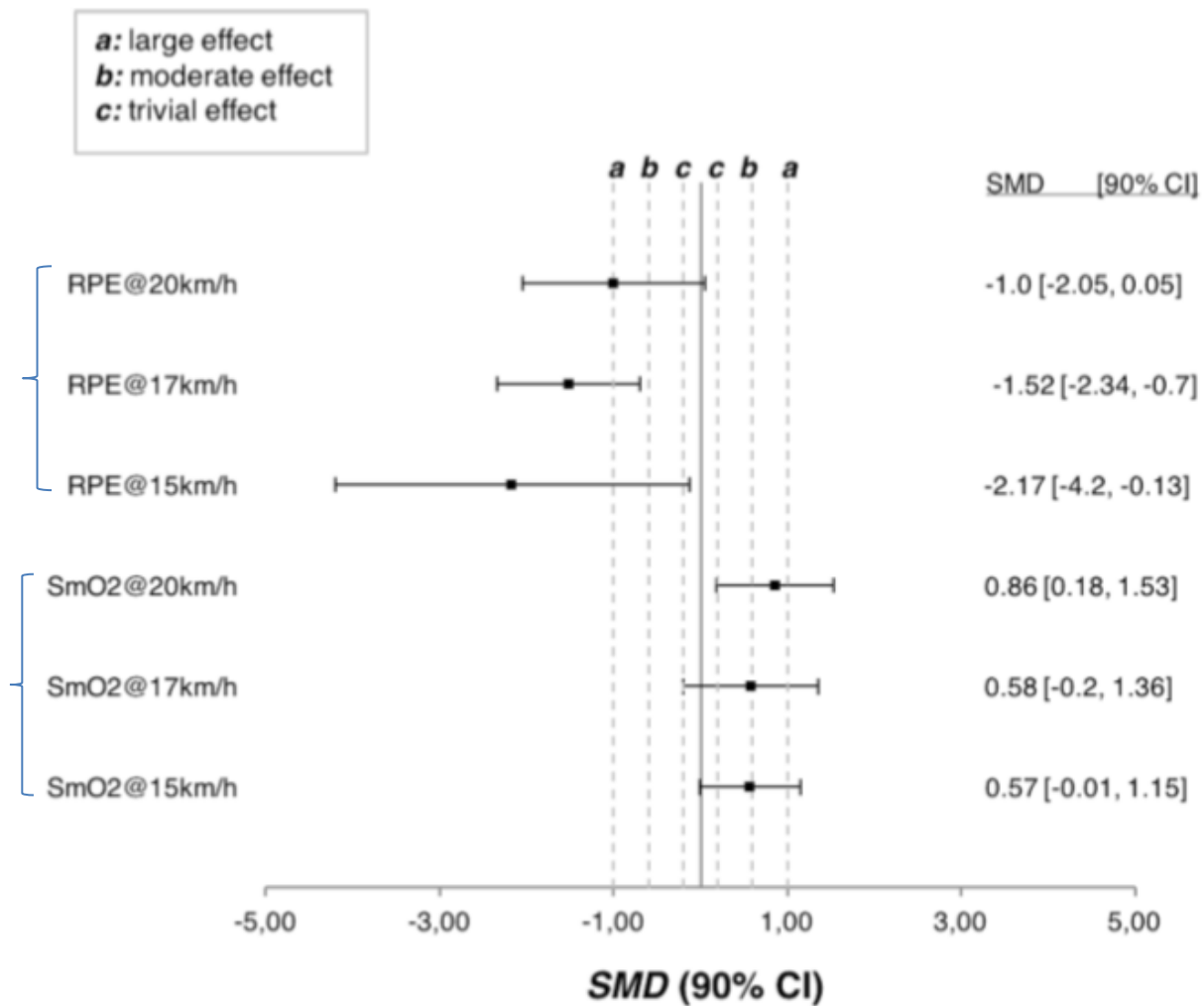


Fig 2. Forest plot with standardized mean differences (SMD) and 90% confidence interval (CI) for the rate of perceived exertion (RPE) and oxygen saturation (SmO₂) at different running paces. Lower scores (i.e., to the left in the X-axis) means lower scores in the experimental group.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200517.g002>

Figura 13. Forest plot con SMD y 90% IC por la tasa de esfuerzo percibido y saturación de oxígeno a diferentes velocidades.

Figura del artículo de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹.

Los resultados del estudio de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ mostraron una mejora escasa a superflua en distintas medidas fisiológicas, tales como la economía de carrera a diferentes velocidades, después de 15 días de suplementación con BJ. Este experimento se llevó a cabo durante el doble de tiempo del que suelen los otros experimentos con corredores de elite, sin embargo, no parece aumentar las adaptaciones en la economía del ejercicio submáximo, la ingesta más prolongada del suplemento de BJ. En cuanto a los parámetros biomecánicos, se observó un efecto superfluo en la rigidez de las piernas (con suplementación BJ), parecida a la economía de carrera submáxima. En cambio, sí se observó una muy probable mejora en RPE y TTE en el grupo BJ, en el cual los sujetos aguantaron más tiempo antes de pararse voluntariamente, en la prueba de la carrera incremental. Una explicación plausible, según los autores, para estas observaciones es el aumento moderado de SmO₂ en el músculo

vasto externo, del cuádriceps de los participantes del grupo BJ en comparación con PLA, después de la fase de suplementación. El SmO_2 al inicio, durante y después del ejercicio, fue mayor en el grupo BJ. Los sujetos que consumieron el zumo de remolacha rico en nitratos presentaron un tanto por ciento más elevado de saturación de oxígeno en sus músculos que los de PLA. Esto podría haber limitado la acumulación de metabolitos (la fatiga) y a consecuencia aumentado el tiempo hasta el agotamiento. Así que una mayor disponibilidad de oxígeno podría haber afectado a RPE y haber llevado a la mejora percibida en el TTE en el grupo BJ.

Comparando el estudio de Nyakayiru J et al, 2017⁴ con el de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ la primera diferencia la vemos con la dosificación y el periodo de suplementación. En el estudio de Nyakayiru J et al, 2017⁴ los futbolistas ingirieron 12.9 mmol NO_3^- /día durante 6 días, en cambio, en el estudio de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ los corredores consumieron 6.5 mmol NO_3^- /día durante 15 días consecutivos. El tipo de prueba para evaluar los posibles efectos de la suplementación también era diferente en ambos ensayos experimentales. En el estudio de Nyakayiru J et al, 2017⁴ se realizó una prueba de rendimiento de carrera intermitente de alta intensidad mediante el test Yo-Yo IR1, que es muy común para simular los ejercicios propios del fútbol. Y en el de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ los atletas realizaron una prueba de carrera incremental hasta el agotamiento. Los estudios, al presentar test diferentes, los resultados también son dispares. En el estudio de Nyakayiru J et al, 2017⁴, los autores concluyeron que seis días con la ingesta de zumo de remolacha rico en nitratos mejora el rendimiento en ejercicios intermitentes de alta intensidad. En cambio, en el de Balsalobre-Fernández C et al, 2018⁹ los resultados sugieren que el tiempo hasta el agotamiento durante un ejercicio incremental en una cinta de correr fue mayor y la tasa de esfuerzo percibido a diferentes velocidades fue menor, con la suplementación de zumo de remolacha rico en nitratos.

IV. CAPÍTULO 6. BETA-ALANINA

La β -alanina es un aminoácido no proteogénico, no esencial, sintetizado en el hígado que puede ingerirse mediante la dieta en forma de alimento (origen animal) o como suplemento^{5,28}. Combinado con Histidina puede sintetizar un dipéptido, la carnosina, formada a través de reacciones dependientes de ATP y mediados por la enzima carnosina sintetasa, dentro de la masa muscular esquelética^{5,12,28}.

Dosis diarias de 4.8 a 6.4 g de β -alanina durante 23-28 días pueden aumentar el contenido de carnosina en músculo⁵. Sin, embargo, la ingesta de carnosina no aumenta la carnosina muscular más que la β -alanina sola, el organismo no tiene la capacidad de absorber carnosina directamente del

torrente sanguíneo, o sea que la síntesis de carnosina en el músculo esquelético está limitada por al β -alanina proveniente de la dieta⁵.

El estudio llevado a cabo por Santana JO et al, 2018⁵ se realizó en 16 hombres sanos físicamente activos, divididos en dos grupos al azar, durante un periodo de 23 días con suplementación de β -alanina. El grupo experimental ingirió 5 g β -alanina /día (más 1 g de almidón resistente) y el grupo control tomó 6 g de almidón resistente. Ambos grupos lo tomaron en fórmula de cápsulas dividido en 3 veces/día. Los participantes fueron instruidos a no cambiar sus hábitos alimentarios y a tomar el suplemento ordenadamente durante el proceso experimental. Todos los sujetos realizaron el mismo protocolo de entrenamiento y en todos ellos se midió el tiempo y la concentración de lactato después de la prueba de los 10 km a contrarreloj, antes y después de los 23 días de suplementación. El programa de entrenamiento de carrera se realizó durante los 23 días, en días no consecutivos. El primer día se hacía una carrera de 7 km, el segundo día se realizaban 6 sprint de 500 metros a velocidad máxima (con 2 minutos de recuperación entre sprint) y el tercer día una carrera de 12 km. La carrera a contrarreloj de los 10 km, tanto al primer día del experimento como al último (día 23), se realizó en las mismas condiciones, al mismo día de la semana, mismo hora, mismo calentamiento, mismo estiramiento, misma indumentaria y mismas condiciones de humedad y temperatura. A parte de la concentración de lactato en sangre, también se midió el tiempo en terminar la prueba, el primer día y el 23° día de la intervención, y además en el inicio del estudio se midieron las características antropométricas.

Finalmente, después de la prueba antes y después de la suplementación con beta-alanina, solo para el grupo BA, el tiempo disminuyó significativamente después de 23 días, es decir, mejoró el rendimiento en la carrera de 10 km. En el delta del rendimiento hubo una reducción estadísticamente significativa para el grupo BA en relación con el grupo PLA (Figura 14).

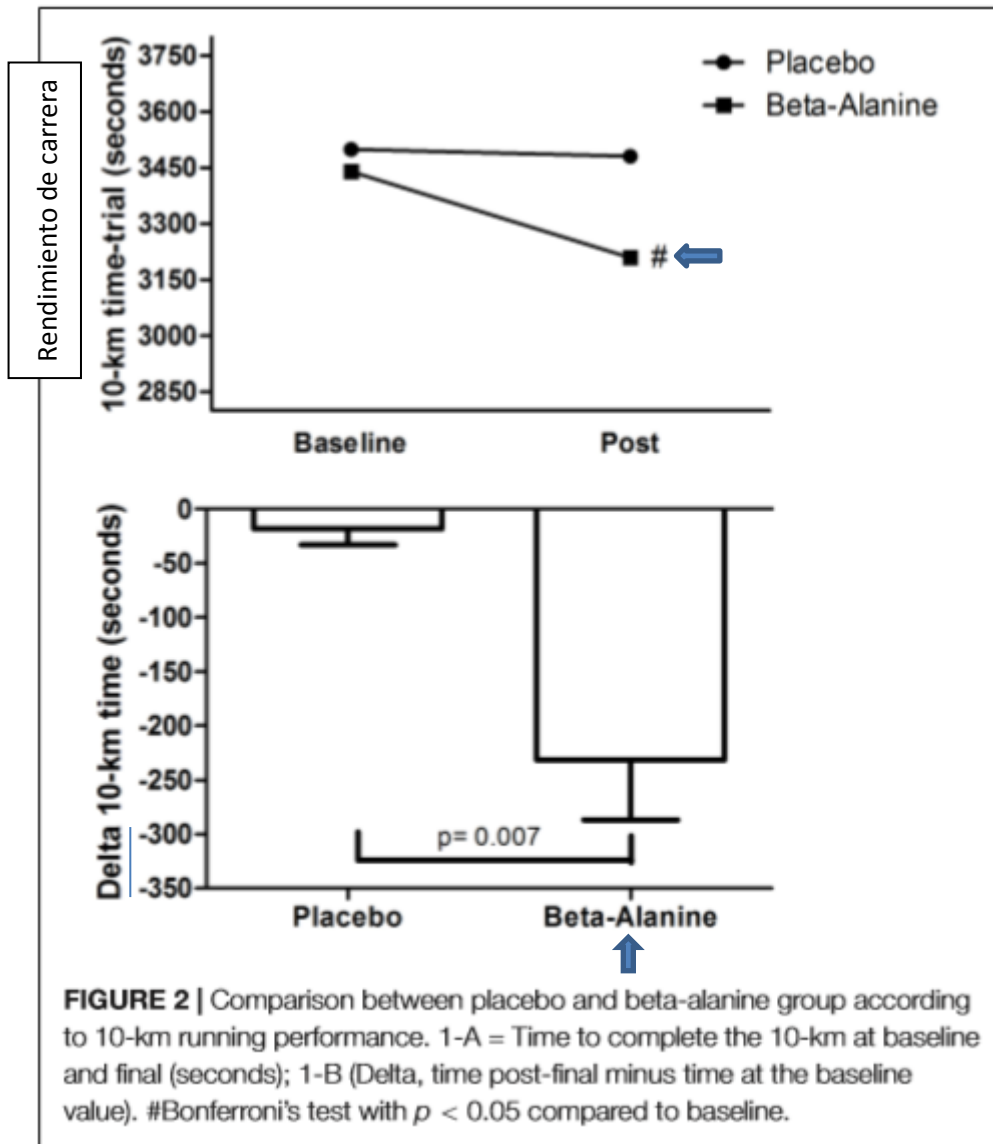


Figura 14. Comparación del grupo placebo y BA respecto al rendimiento en la carrera de 10 km: tiempo para terminar la carrera (arriba) y delta (abajo).

Figura del artículo de Santana JO et al, 2018⁵.

En cuanto al lactato, hubo una concentración significativamente menor en el grupo BA comparado con el grupo PLA. Y el delta del lactato fue significativamente inferior para el grupo BA que para el grupo PLA (Figura 15).

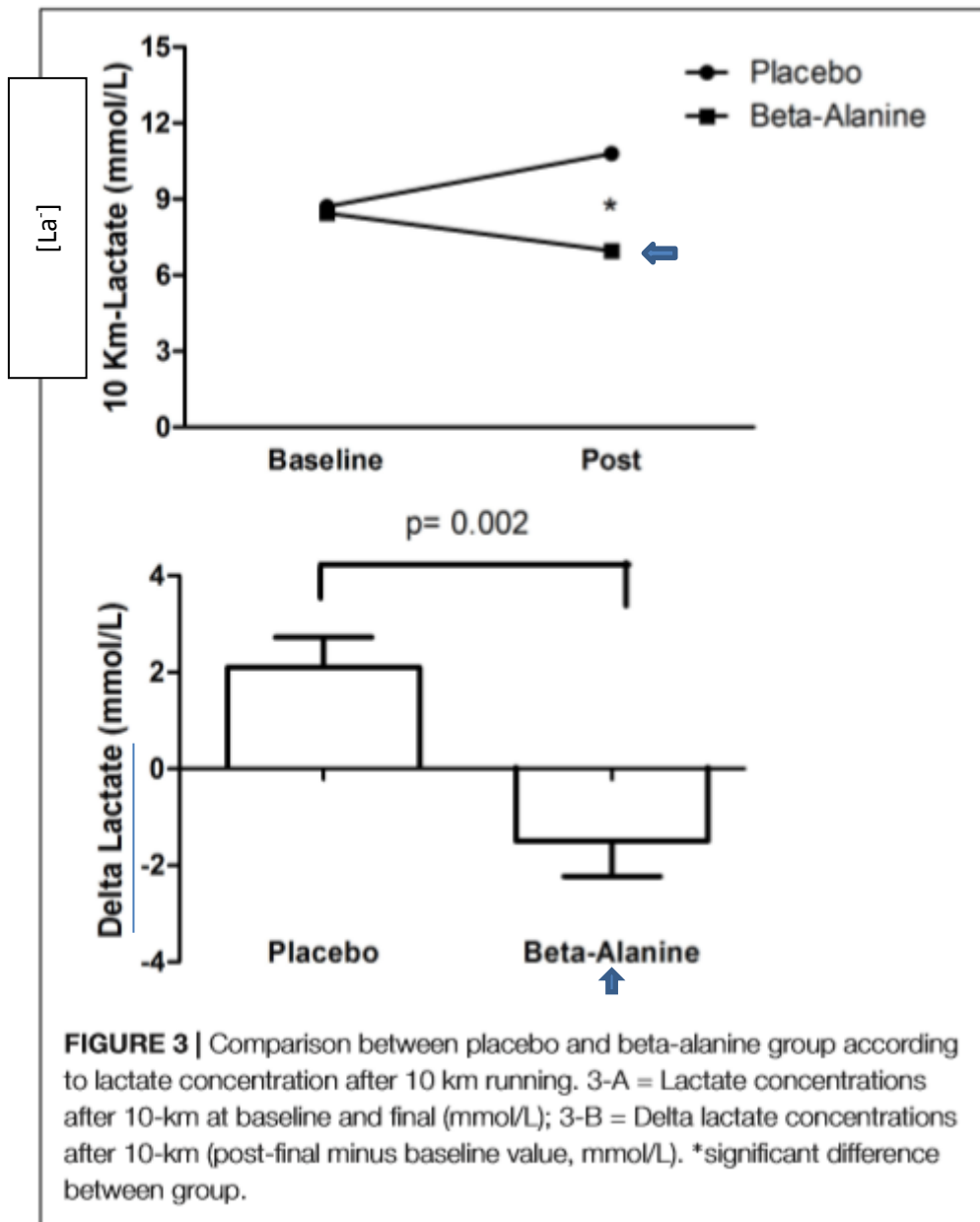


Figura 15. Comparación de la concentración de lactato entre placebo y BA después de carrera de 10 km: $[La^-]$ al inicio y final del periodo de suplementación (arriba) y delta de la $[La^-]$ después de carrera 10 km (abajo).

Figura del artículo de Santana JO et al, 2018⁵.

Con estos resultados los autores pudieron concluir que después de 23 días con suplementación de β -alanina, mejoró el tiempo en una carrera a contrarreloj de 10 km y disminuyó la concentración de lactato en sangre, en personas físicamente activas. Este resultado sugiere que el suplemento de β -alanina tiene efectos positivos en carreras prolongadas. El aumento del rendimiento, según los autores, puede ser debido a la menor acumulación de lactato, al aumento de la capacidad tamponadora muscular, así generando menos lactato, o a la entrada de calcio intramuscular por la carnosina y a la actividad antioxidante retrasando así la fatiga muscular.

En el artículo de Brisola GMP et al, 2018¹² se administraron 4 semanas del suplemento beta-alanina de la siguiente forma, durante 10 días los participantes consumieron una dosis de 4.8 g β -alanina/día, repartido en 800 mg en 6 tomas/día, y durante los 18 días restantes los sujetos tomaron una dosis de 6.4 g β -alanina/ día, 1600 mg en 4 tomas/día (dando un total de 163.2 g β -alanina/28 días, es decir, una dosis media de 5.8 g β -alanina/día), la otra mitad de los participantes tomaron placebo. Los veintidós jugadores profesionales de waterpolo realizaron dos pruebas, un ejercicio de natación graduado, atados por la cintura (TS_{GET} , capacidad de resistencia) y 24 horas después un ejercicio de esfuerzo total de 3 minutos ($3min_{ALL-OUT}$, capacidad de trabajo anaerobio), y así hallar la captación máxima de oxígeno (VO_{2max}) y la fuerza asociada a VO_{2max} (FVO_{2max}). Ambas pruebas se realizaron antes y después del periodo de suplementación (un día después de la última toma del suplemento). Ataron a los sujetos con un cinturón a una cuerda elástica, conectado a un sistema para medir la fuerza. Los participantes fueron previamente familiarizados a nadar en estas condiciones y con el esnórquel, en estilo crawl. En ambas pruebas se sacó una muestra de sangre a los 3, 5 y 7 minutos después de finalizar cada prueba, para así analizar la concentración máxima de lactato ($[La^-]_{max}$). También se obtuvo otra muestra de sangre en el descanso antes de que empezara el test $3min_{ALL-OUT}$ ($[La^-]_{resting}$).

En la prueba TS_{GET} , el incremento en la carga de trabajo se hizo a través de aumentar la tensión de la cuerda elástica cuando los nadadores avanzaban a cada etapa, agrandando la carga cada minuto en la siguiente etapa. Había unos conos colocados en el borde de la piscina cada metro para indicar las diferentes etapas. Esta prueba se llevó a cabo hasta el agotamiento de los participantes, el cual se consideraba cuando los sujetos no podían mantener su cintura (donde llevaban el cinturón atado a la cuerda) alineada con el cono o por agotamiento volitivo. Durante esta prueba se midió la respiración con un analizador de gases portable, para evaluar VO_{2max} y FVO_{2max} . La media más alta de la captación máxima de oxígeno en los últimos 20 seg de cada etapa, fue el VO_{2max} , mientras que FVO_{2max} fue equivalente a la menor fuerza donde se alcanzó VO_{2max} .

En la prueba $3min_{ALL-OUT}$, los participantes igualmente atados, a una doble cuerda elástica de 3 metros tuvieron que realizar el ejercicio de su esfuerzo máximo en 3 minutos para así determinar la fuerza crítica y el parámetro constante de la curvatura (W'). Además se obtuvieron estos otros parámetros, fuerza máxima, fuerza media, integral de fuerzas, índice de fatiga relativa, e índice de fatiga absoluta mediante diferentes ecuaciones durante la natación.

Después de concluir las pruebas, se observó que durante el periodo experimental, 4 participantes percibieron parestesia. Además no hubo ninguna interacción significativa entre grupos en ninguna variable. El análisis de inferencia basado en la magnitud, de TS_{GET} , mostró un posible efecto beneficioso en FVO_{2max} en el grupo BA comparado con PLA. Solo hubo una diferencia significativa

entre antes y después de la suplementación en el grupo BA, en VO₂max expresado en valores absolutos (Tabla 17).

Tabla 17. Parámetros de la prueba TS_{GET} antes y después de la suplementación.

Table 1. Tethered swimming graded exercise test parameters pre and post supplementation.

	Placebo Group			β-alanine Group			Magnitude-based Inference Analysis (β-alanine Group × Placebo Group)		
	Pre	Post	Δ%	Pre	Post	Δ%	Effect size (Cohens'sd ± 90% CI)	%Chances (beneficial/trivial/ harmful)	Qualitative inference
$\dot{V}O_{2peak}$ (L·min ⁻¹)	3.4±0.6 (3.1 to 3.7)	3.2±0.5 (2.9 to 3.4)	-8.2	3.3±0.6 (3.0 to 3.6)	3.0±0.4* (2.7 to 3.2)	-9.8	-0.1±0.6	20/40/40	unclear
$\dot{V}O_{2peak}$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	41.7±8.0 (37.5 to 46.4)	40.1±8.9 (35.4 to 44.9)	-6.9	43.4±4.9 (40.4 to 45.9)	39.9±7.9 (35.8 to 44.6)	-8.0	0.0±0.7	28/38/34	unclear
FV _{O_{2peak}} (N)	81.7±15.4 (73.5 to 90.8)	77.6±10.0 (72.2 to 83.2)	-5.2	75.6±12.1 (68.5 to 81.9)	76.3±18.0 (66.4 to 85.8)	0.7	0.4±0.6	74/21/04	possibly beneficial
TTE (s)	429.0±102.3 (367.3 to 486.4)	424.5±104.6 (360.0 to 482.1)	-1.1	413.8±90.9 (362.5 to 462.1)	424.3±116.0 (358.8 to 492.4)	3.5	0.1±0.5	42/46/12	unclear
[La ⁻] _{peak} (mmol·L ⁻¹)	7.7±2.5 (6.4 to 9.1)	6.6±1.7 (5.7 to 7.5)	-8.2	8.5±2.5 (6.6 to 9.5)	7.3±2.1 (6.2 to 8.5)	-12.4	0.1±0.7	44/36/20	unclear

Values expressed as Mean±SD (95%CI). FV_{O_{2peak}} = force associated with peak oxygen uptake; TTE = time to exhaustion; $\dot{V}O_{2peak}$ = peak oxygen uptake; [La⁻]_{peak} = peak blood lactate. Δ% = percentage difference (post-pre). The quantitative chances were assessed qualitatively as follows: <1% = *most unlikely*; 1%–5% = *very unlikely*; 5%–25% = *unlikely*; 25%–75% = *possibly*; 75%–95% = *likely*; 95%–99% = *very likely*; and >99% = *most likely*. If the probabilities of the effect being substantially beneficial and harmful were both > 5%, the effect was reported as *unclear*.

The magnitude-based inference analysis presents the percentage chance or likelihood that the true effect of the β-alanine supplementation will be beneficial, trivial, or harmful when compared with the placebo condition.

*Significant difference from pre-supplementation ($p \leq 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205129.t001>

Tabla del artículo de Brisola GMP et al, 2018¹².

En los resultados de la prueba 3min_{ALL-OUT} hubo una mejora significativa dentro del grupo BA en la fuerza crítica, mientras que W' cayó significativamente. El análisis de inferencia basado en la magnitud mostró un efecto poco claro en todas las variables de esta prueba (Tabla 18).

Tabla 18. Parámetros de la prueba 3 min_{ALL-OUT} antes y después de la suplementación.

Table 2. The three-minute all-out effort parameters pre and post supplementation.

	Placebo Group			β-alanine Group			Magnitude-based Inference Analysis (β-alanine Group × Placebo Group)		
	Pre	Post	Δ%	Pre	Post	Δ%	Effect size (Cohens'sd± 90% CL)	%Chances (beneficial/ trivial/ harmful)	Qualitative inference
Peak force (N)	139.8 ±26.6 (126.1 to 156.8)	143.4 ±23.0 (130.3 to 155.8)	3.9	134.4 ±17.9 (124.0 to 143.8)	136.5 ±20.9 (124.8 to 148.5)	2.0	-0.1 ±0.6	23/42/35	<i>unclear</i>
Mean force (N)	70.8 ±10.7 (65.4 to 77.2)	72.7 ±13.2 (66.1 to 80.6)	2.4	67.9 ±10.3 (62.5 to 73.3)	68.9 ±10.6 (62.9 to 74.7)	1.7	-0.1 ±0.3	06/68/26	<i>unclear</i>
Fatigue index (N·s)	12433.5 ±3500.2 (10472.4 to 14644.2)	12706.1 ±3271.8 (10816.1 to 14462.4)	8.8	11921.5 ±3009.4 (10141.3 to 13546.3)	12154.8 ±3898.1 (9916.8 to 14322.4)	2.8	0.0 ±0.8	34/33/33	<i>unclear</i>
Fatigue index (%)	71.7 ±9.7 (66.3 to 77.4)	67.7 ±7.4 (63.3 to 71.8)	-4.1	71.4 ±8.9 (66.5 to 76.0)	72.3 ±12.1 (65.7 to 79.3)	1.6	0.5 ±0.8	08/19/73	<i>unclear</i>
Integral (N·s)	12765.9 ±1941.2 (11785.2 to 13909.5)	13087.4 ±2402.3 (11889.5 to 14516.2)	2.2	12175.1 ±1859.1 (11180.3 to 13168.2)	12387.0 ±1898.4 (11315.4 to 13426.6)	2.1	-0.1 ±0.3	09/69/22	<i>unclear</i>
Critical force (N)	56.3 ±12.3 (49.9 to 63.6)	59.6 ±12.0 (53.7 to 66.7)	7.1	51.2 ±10.4 (45.7 to 57.0)	56.5 ±13.1* (49.4 to 63.7)	11.2	0.2 ±0.5	45/44/11	<i>unclear</i>
W^r (N·s)	2891.8 ±753.0 (2477.6 to 3351.3)	2359.5 ±855.8 (1888.3 to 2821.4)	-8.4	2998.0 ±1103.7 (2410.3 to 3606.7)	2224.6 ±1058.9* (1675.2 to 2826.8)	-17.1	-0.4 ±0.9	15/23/62	<i>unclear</i>
[La]⁻_{resting} (mmol·L⁻¹)	1.2 ±0.4 (1.0 to 1.4)	1.2 ±0.2 (1.1 to 1.3)	6.6	1.2 ±0.3 (1.0 to 1.3)	1.3 ±0.4 (1.1 to 1.5)	22.1	0.4 ±0.8	66/24/10	<i>unclear</i>
[La]⁻_{peak} (mmol·L⁻¹)	13.6 ±2.9 (11.8 to 15.4)	12.5 ±3.4 (10.7 to 14.8)	-6.5	13.6 ±3.1 (11.9 to 15.5)	12.0 ±2.6 (10.6 to 13.5)	-10.1	-0.2 ±0.7	16/34/49	<i>unclear</i>

Values expressed as Mean ± SD (95%CI). [La]⁻_{peak} = peak blood lactate; [La]⁻_{resting} = resting blood lactate; W^r = curvature constant parameter. Δ% = percentage difference (post-pre). The quantitative chances were assessed qualitatively as follows: <1% = *most unlikely*; 1%–5% = *very unlikely*; 5%–25% = *unlikely*; 25%–75% = *possibly*; 75%–95% = *likely*; 95%–99% = *very likely*; and >99% = *most likely*. If the probabilities of the effect being substantially beneficial and harmful were both > 5%, the effect was reported as *unclear*.

The magnitude-based inference analysis presents the percentage chance or likelihood that the true effect of the β-alanine supplementation will be beneficial, trivial, or harmful when compared with the placebo condition.

*Significant difference from pre-supplementation ($p \leq 0.05$).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205129.t002>

Tabla del artículo de Brisola GMP et al, 2018¹².

Con la obtención de estos resultados variados, los autores concluyeron que 4 semanas con suplementación de beta-alanina en jugadores de waterpolo puede no ser efectiva para mejorar los parámetros sacados de la prueba TS_{GET} y 3min_{ALL-OUT}.

Comparando el estudio de Santana JO et al, 2018⁵ con una dosis media de 5.8 g β-alanina/día durante 23 días y el artículo de Brisola GMP et al, 2018¹² con 5 g β-alanina /día durante 4 semanas, observamos diferencias tanto en el diseño experimental como en los resultados de los 2 estudios. En el estudio de Santana JO et al, 2018⁵ se realizó una prueba de 10 km de carrera a contrarreloj, antes y después del periodo de 23 días de la suplementación de beta-alanina. En el estudio de Brisola GMP et al, 2018¹² también se realizaron las pruebas antes y después, de las 4 semanas con β-alanina, pero con diferentes test (y dirigido a jugadores de waterpolo), una prueba era un ejercicio de natación graduado, atados (capacidad de resistencia) y la otra prueba, un ejercicio de esfuerzo total de 3 minutos (capacidad de trabajo anaerobio). Finalmente los autores del artículo Santana JO et al, 2018⁵ alagaron que la suplementación con β-alanina mejoró el rendimiento en una carrera a contrarreloj de 10 km y disminuyó la concentración de lactato en sangre en adultos físicamente activos. Este resultado apunta

a que la suplementación con beta-alanina tiene efectos ergogénicos en carrera prolongada. A diferencia del estudio de Brisola GMP et al, 2018¹², que 4 semanas con suplementación de beta-alanina presenciaron resultados variados en jugadores de waterpolo, sugiriendo que esta estrategia nutricional puede que no sea efectiva como ayuda ergogénica, en la mejora de los parámetros de estas dos pruebas, TS_{GET} y $3min_{ALL-OUT}$.

V. CAPÍTULO 3. BICARBONATO

El bicarbonato es una sal alcalina, presente en el organismo, que actúa de tampón en el medio ácido^{2, 15}. Se responsabiliza de tamponar la concentración de ácido láctico a nivel extracelular el cual aumenta durante un ejercicio intenso, siendo así el culpable de la aparición de fatiga muscular, es decir, el bicarbonato es de utilidad en situaciones metabólicas anaeróbico-lácticas, en el que neutraliza el ácido láctico resultante y así se retrasa la aparición de la fatiga^{19,15}.

El HCO_3^- se ocupa de mejorar el flujo de H^+ desde el músculo en ejercicio y así posibilita una mejor conservación del pH intracelular y de este modo neutraliza la acidez metabólica muscular después del entrenamiento². Según la bibliografía, el HCO_3^- podría mejorar el rendimiento en ejercicios de alta intensidad, de corta duración e intermitentes, aunque pueden desencadenarse efectos secundarios dosis-dependientes, como por ejemplo náuseas, diarrea, eructos, vómitos, dolor intestinal, etc². Reduciendo la dosis se ha observado que disminuye la severidad de los síntomas².

Este suplemento suele darse de forma individualizada, lo más común en los estudios es una dosis de 0.2 ó 0.3 g/kg BM y hay una gran variación en el tiempo de la administración de dicho suplemento entre estudios, algunos recomiendan la ingestas entre 1 y 4 horas antes del ejercicio, otros entre 60 y 90 minutos, otros 180 min antes, otros entre 40 y 140 min². Estos datos dan a entender que podría haber una gran variación individual en el tiempo para alcanzar la alcalosis máxima, y que algunos deportistas podrían no percibir esta ayuda ergogénica por no tomarlo en su momento individual del pico de alcalosis². Así que lo ideal sería administrar el $NaHCO_3^-$ de forma individual, y empezar el ejercicio justo cuando cada individuo alcance su pico máximo de alcalosis².

El estudio de Gough LA et al, 2017² se realizó en once ciclistas entrenados con una dosis de 0.2 g $NaHCO_3^-$ /kg BM y 0.3 g $NaHCO_3^-$ /kg BM ingerido como bebida, con 400 ml de agua y 50 ml de zumo de grosella sin azúcar. Se llevó a cabo 5 veces la misma prueba ciclista a contrarreloj (TT) de 4 km en un ergómetro, en tiempos separados, 2 veces con una dosis de 0.2 g $NaHCO_3^-$ /kg BM (SBC2), 2

veces con una dosis de 0.3 g NaHCO₃⁻/kg BM (SBC3) y una de control sin suplemento (PLA), en orden aleatorio. Se tomó una muestra de sangre a los participantes, en reposo, en el momento de alcanzar el pico máximo de alcalosis y después del ejercicio para así analizar el pH, HCO₃⁻ y la concentración de lactato en sangre. Los participantes también iban rellenando un cuestionario de malestar GI cada 10 min hasta alcanzar la máxima concentración individual de HCO₃⁻ en sangre. Antes de realizar la prueba de los 4 km se midieron varios parámetros, el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), la potencia máxima de salida (PPO) y el tiempo para alcanzar el pico de [HCO₃⁻] en sangre.

Después de la finalización de las pruebas, los autores pasaron a mostrar los resultados obtenidos. En el examen inicial para identificar el tiempo para alcanzar la alcalosis máxima, el pico de HCO₃⁻ se logró entre 40 y 110 minutos después de la toma de 0.2 g NaHCO₃⁻/kg BM (SBC2) y entre 40 y 100 minutos después de la ingesta de 0.3 g NaHCO₃⁻/kg BM (SBC3), hubo una gran variación inter-individual. El pico de pH se alcanzó entre 50 y 80 minutos después de SBC2 y entre 50 y 90 después de SBC3 (Tabla 19).

Tabla 19. Media (± SD) de las respuestas sanguíneas de pH y HCO₃⁻ después de NaHCO₃⁻.

Table 2 Mean (± SD) blood pH, bicarbonate (HCO₃⁻) and lactate responses following sodium bicarbonate (NaHCO₃)

Baseline to pre-exercise	Ind. time to peak SBC2	SBC2	SBC2	Ind. time to peak SBC3	SBC3	SBC3
pH	0.07 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.09 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.02
HCO ₃ ⁻ (mmol l ⁻¹)	5.5 ± 0.7	4.9 ± 0.8	5.2 ± 1.1	6.5 ± 1.3	5.6 ± 1.0	5.7 ± 1.1
During exercise						
HCO ₃ ⁻ usage (mmol l ⁻¹)		12.7 ± 2.6	13.9 ± 1.7		13.8 ± 2.7	13.2 ± 2.5
Post-exercise						
Blood lactate (mmol l ⁻¹)		16.1 ± 3.4	17.2 ± 3.7		16.1 ± 3.4	16.3 ± 3.8

Tabla del estudio de Gough LA et al, 2017².

Después de la ingesta de NaHCO₃⁻, la concentración de HCO₃⁻ en sangre fue mayor comparada con la del inicio, en ambos SBC2 y SBC3 (con un efecto principal en el tiempo), sin embargo, no se observó una diferencia entre los dos tratamientos (SBC2 y SBC3). Al pH le sucedió un efecto muy parecido al HCO₃⁻. Durante el ejercicio no hubo diferencias en la disminución de HCO₃⁻ después de ambos tratamientos. Después del ejercicio también se demostró que no hubo diferencias entre los 2 tratamientos en la concentración de lactato. El tiempo para completar la prueba de 4 km de distancia fue similar para ambos tratamientos, comparados con el tratamiento control. SBC2 y SBC3 presentaron un tiempo de competición menor, es decir, más rápido (Tabla 20).

Tabla 20. Respuestas sanguíneas individuales del pH y HCO_3^- después de NaHCO_3^- .

Table 3 Individual blood responses for both blood pH and bicarbonate (HCO_3^-) following sodium bicarbonate (NaHCO_3^-)

Participant number	Blood HCO_3^-							Blood pH							
	Absolute change in mmol l^{-1}							Absolute change							
	Ind. dose	SBC2	SBC2	Ind. dose	SBC3	SBC3	CON	Ind. dose	SBC2	SBC2	Ind. dose	SBC3	SBC3	CON	
1	5.5	5.4	5.7	4.9	4.1	4.8	0.0	0.06	0.07	0.04	0.09	0.09	0.08	0.00	
2	6.8	5.6	5.1	5.6	4.1	4.9	0.1	0.08	0.08	0.07	0.05	0.04	0.05	0.00	
3	5.6	4.7	7.2	5.0	6.2	6.9	-0.5	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.08	0.00	
4	6.2	4.5	5.0	8.1	7.2	7.2	0.0	0.05	0.03	0.08	0.10	0.02	0.03	0.01	
5	5.8	5.5	6.3	8.1	5.8	4.9	0.0	0.09	0.05	0.06	0.06	0.08	0.07	0.00	
6	5.3	5.4	5.0	6.5	5.4	6.9	0.0	0.09	0.08	0.11	0.16	0.05	0.04	0.00	
7	4.7	3.3	2.9	7.6	6.5	4.2	0.1	0.07	0.06	0.06	0.10	0.07	0.08	0.00	
8	3.8	3.8	4.3	7.8	6.4	6.1	-0.1	0.06	0.05	0.05	0.09	0.06	0.06	0.00	
9	5.3	5.6	5.2	4.6	4.8	4.8	0.3	0.05	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.00	
10	5.4	5.8	6.0	7.0	6.0	6.9	0.0	0.05	0.04	0.04	0.09	0.05	0.04	0.00	
11	5.9	4.9	5.2	6.4	5.6	5.7	0.0	0.11	0.07	0.12	0.09	0.10	0.11	0.01	
Mean	5.5	5.0	5.3	6.5	5.6	5.8	0.0	0.07	0.06	0.07	0.09	0.06	0.07	0.00	
SD	0.7	0.8	1.1	1.3	0.9	1.0	0.2	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	

Tabla del estudio de Gough LA et al, 2017².

No hubo diferencias entre SBC2 y SBC3 para cada potencia media ni velocidad media. La severidad de las molestias gastrointestinales en SBC3 fue ligeramente mayor que en SBC2, no obstante, no significativo. Y el tiempo para alcanzar el pico máximo de molestias GI para SBC2 fue alrededor de 20 minutos más tarde que en SBC3, pero de nuevo, no fue significativo (Tabla 21).

Tabla 21. Gravedad GI individual y el tiempo para alcanzar el pico de respuestas GI en los participantes que denunciaron síntomas, solo el 8.

Table 5 Individual severity and time to peak gastrointestinal (GI) responses in participants who reported symptoms only ($n = 8$)

Participant number	SBC2			SBC2			SBC3			SBC3		
	Severity	Peak GI (min)	Symptom	Severity	Peak GI (min)	Symptom	Severity	Peak GI (min)	Symptom	Severity	Peak GI (min)	Symptom
1	6	30	Diarrhoea/bowel urgency	2	30	Belching	4	50	Belching	3	60	Belching
2	3	30	Belching	3.5	20	Belching	0	0	None	0	0	None
3	10	50	Diarrhoea/bowel urgency	3	40	Belching	5	60	Belching	0	0	None
4	3	70	Stomach bloating	3	70	Stomach bloating	10	60	Diarrhoea/bowel urgency	10	90	Diarrhoea/bowel urgency
5	0	0	None	0	0	None	3	80	Stomach cramp	10	80	Diarrhoea/bowel urgency
6	0	0	None	0	0	None	3	40	Nausea/bloating	4	40	Diarrhoea/bowel urgency
7	0	0	None	0	0	None	2	40	Bloating	5.5	30	Bloating/belching
8	0	0	None	0	0	None	0	0	None	4	40	Stomach cramp
Mean	2.8	23		1.4	20		3.4	41		4.6	43	
SD	3.4	25		1.5	24		3.0	27		3.6	31	

Tabla del estudio de Gough LA et al, 2017².

Después de la obtención de todos estos resultados, los autores argumentaron que hay respuestas consistentes del rendimiento y fisiológicas después de la ingesta de NaHCO_3^- cuando el ejercicio comienza en el momento individual de cada sujeto, del pico máximo de HCO_3^- en sangre. Los resultados del estudio sustentan la utilización de NaHCO_3^- como suplemento de forma individualizada antes del ejercicio para obtener una ayuda ergogénica en el rendimiento y respuestas fisiológicas reproducibles. Ambos tratamientos, SBC2 y SBC3 presentaron un balance ácido-base sanguíneo

similar y un rendimiento fiables, sin diferencias entre dosis. Esto sugiere, según los autores, que ambas dosis podrían ser usadas como ayuda ergogénica ya que no se observó un efecto dosis-dependiente en el rendimiento. Esto indica, según los autores, que existe un efecto ergogénico usando la estrategia de la ingesta de NaHCO_3^- en el momento del pico de alcalosis individual. Pero hay que tener en cuenta la diferente respuesta entre tratamientos, en la gravedad de las molestias GI, así que sería una opción acertada, según los autores, escoger la dosis más baja ($0.2 \text{ g NaHCO}_3^-/\text{kg BM}$), para así obtener un efecto ergogénico, minimizando, dentro de lo posible, las molestias gastrointestinales.

En el artículo de Deb SK et al, 2018⁷ once hombres recreativamente activos, la mitad de ellos (grupo experimental, SB) con un consumo diario de $0.3 \text{ g NaHCO}_3^-/\text{kg BM}$ durante un periodo de 3 semanas, realizaron distintas pruebas antes y después de la fase de suplementación, con unas condiciones ambientales de hipoxia.

Después de ingerir el suplemento de bicarbonato de sodio (NaHCO_3^-) se tomaron varias muestras de sangre, cada 10 min durante 60 min y después cada 5 min de los 60 min a los 90. Este examen se realizó para conocer la concentración de bicarbonato ($[\text{HCO}_3^-]$) en sangre y el pico máximo de $[\text{HCO}_3^-]$ después de la ingesta de NaHCO_3^- , y así después usarlo para saber en qué momento individual hay que ingerir el suplemento, para que la toma de SB haga el máximo efecto posible reflejado en el ejercicio. Para averiguar el VO_2max y el umbral ventilatorio (VT1) se realizó una prueba incremental RAMP bajo condiciones de hipoxia simulada y después de 30 min los participantes se familiarizaron con la prueba de 3min_{ALL-OUT} para así estimar la potencia crítica (CP) y W^3 para informar de la intensidad de trabajo utilizado durante la posterior prueba de ejercicio intermitente.

La prueba de RAMP se realizó en un ergómetro eléctrico con sistema de frenado. Los participantes empezaron con 3 minutos pedaleando sin carga con un aumento en la rampa de $1\text{W}/\text{seg}$. Se les pidió a los sujetos que mantuvieran la cadencia hasta el agotamiento volitivo. La prueba se terminó cuando los sujetos no pudieron mantener la cadencia dentro de 10 rpm en 10 seg. Se registró el intercambio de gases con un analizador metabólico. La potencia máxima de salida (PPO) fue estimada como la mayor potencia de salida alcanzada al terminar el test. La media de los 30 seg más altos en VO_2 se determinó como el VO_2max . Y VT1 se valoró mediante la detección de puntos de inflexión en el intercambio de gases.

La prueba de 3min_{ALL-OUT} consiste en 3 minutos de pedaleo sin carga y después con un brusco comienzo (para así poder lograr PPO en el inicio del sprint), 3 min de sprint. Se ordenó a los participantes que mantuvieran la mayor cadencia posible durante toda la prueba. La media de la

potencia de salida de los últimos 30 seg se valoró como la CP, y W' se calculó como el volumen de trabajo realizado sobre CP.

Después, todas las pruebas intermitentes consistieron en 1 minuto de pedaleo a 20 W seguido por un brusco comienzo de los intervalos repetidos de 60 seg de trabajo y 30 seg de recuperación, hasta el agotamiento. Se calculó la intensidad de los intervalos de trabajo, el trabajo completado, la tolerancia al ejercicio, el trabajo acumulado realizado por encima del CP, frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno. Y con la muestra de sangre que se realizó antes y 1 minuto después de que terminara el ejercicio, se analizó el pH, la $[HCO_3^-]$ y la $[La^-]$.

Finalmente, los autores revelaron estos resultados, el tiempo necesario para alcanzar el pico en sangre de $[HCO_3^-]$ osciló entre 40 y 90 min, con un valor medio de 70 min. La tolerancia al ejercicio, durante la prueba intermitente, fue significativamente mayor en SB. El trabajo realizado en el ejercicio de intensidad severa incrementó significativamente (Figura 16).

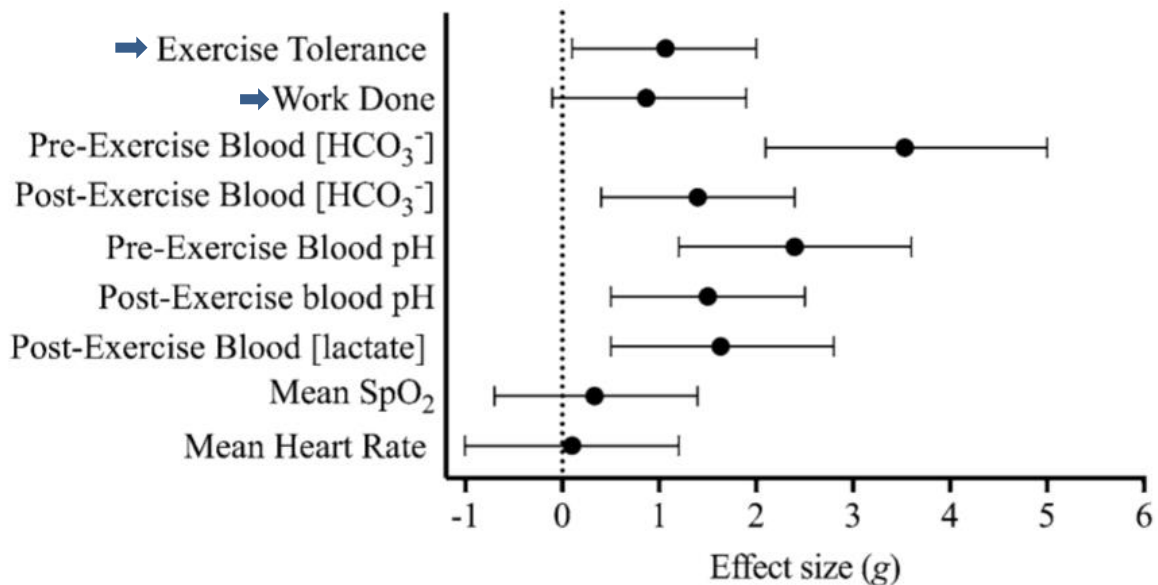


Fig. 1 Hedge's g effect size and 95% CI of the effect of $NaHCO_3$ treatment against placebo treatment for all outcome variables

Figura 16.

Figura del artículo de Deb SK et al, 2018⁷.

Un aumento en el trabajo realizado (en el ejercicio de intensidad severa) no fue consistente en todos los participantes, el 9º tuvo un efecto ergolítico y el 2º no experimentó cambios (Figura 17).

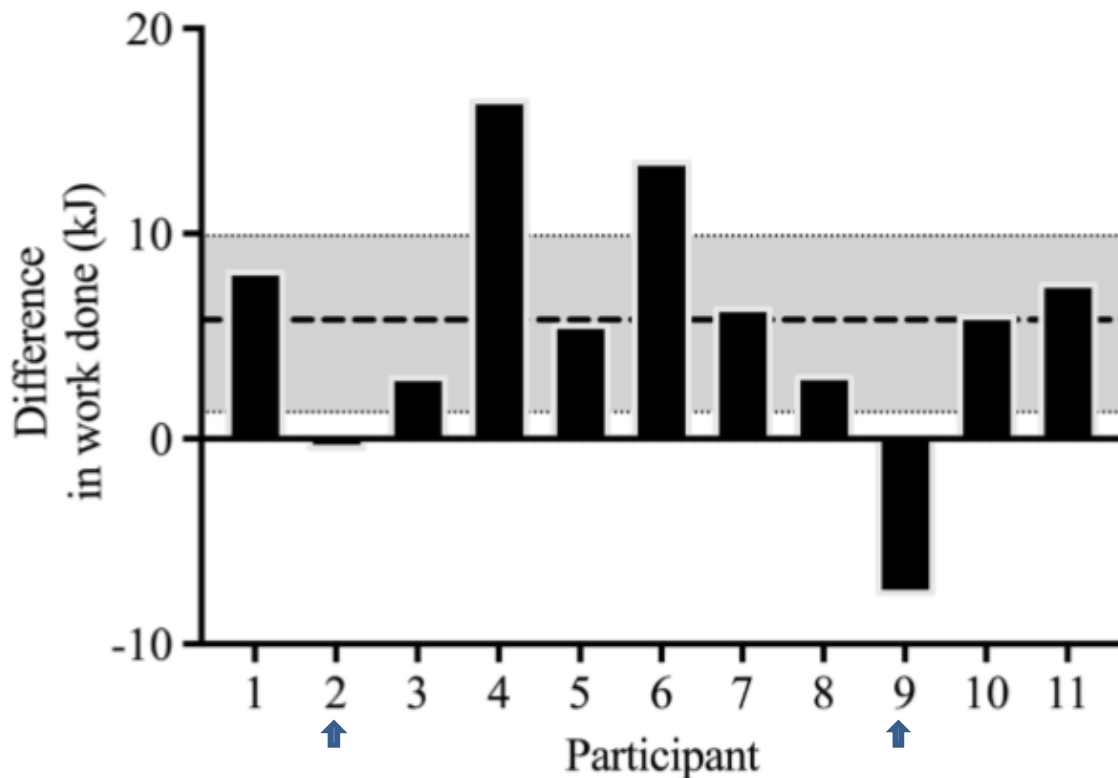


Fig. 2 Difference in work complete between NaHCO_3 treatment against placebo treatment for all participants. Values greater than zero indicate that a greater volume of work was performed with NaHCO_3 and values lower than zero indicate that less work was performed with NaHCO_3 compared to placebo. Dashed line represents mean difference in work complete and the shaded band shows the $\pm 95\%$ CI of effect between treatments

Figura 17. Diferencia en el trabajo realizado entre NaHCO_3^- y placebo.

Figura del artículo de Deb SK et al, 2018⁷.

También se percibió una mayor $[\text{HCO}_3^-]$ significativa, con la toma de SB en comparación con PLA, antes del ejercicio; manteniéndose elevado en SB comparado con PLA, después del ejercicio. Y se halló un resultado parecido para el pH (Figura 18).

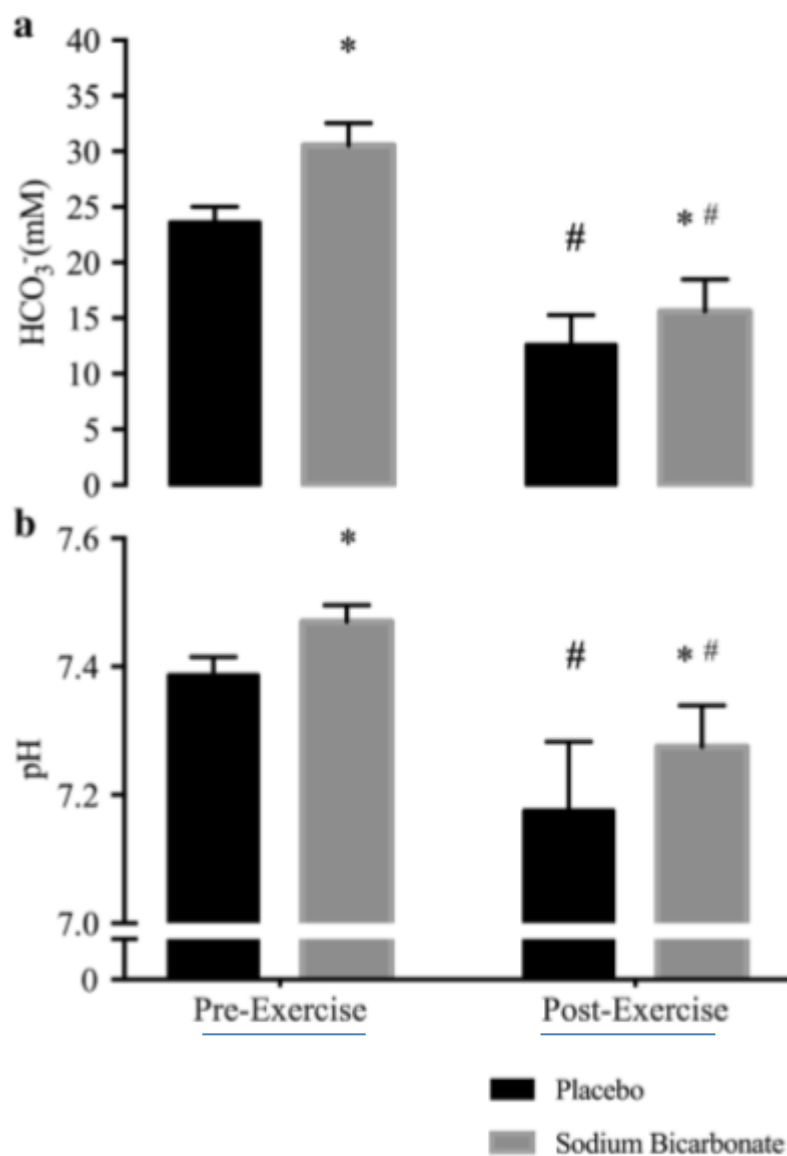


Fig. 3 Pre- and post-exercise blood [HCO₃⁻] (a) and blood pH (b) during NaHCO₃ and placebo experimental trials. *Significant (95% CI) difference to corresponding placebo time point. #Significant (95% CI) difference to corresponding pre-exercise time point within the same experiment condition

Figura 18. Concentración de HCO₃⁻ y pH en sangre antes y después del ejercicio.

Figura del artículo de Deb SK et al, 2018⁷.

La concentración de lactato después del ejercicio aumentó y no hubo diferencias significativas en la FC media ni en la saturación de oxígeno (SpO₂) entre SB y PLA.

Con estos resultados, los autores concluyeron que este estudio demostraba que la suplementación con bicarbonato de sodio, prescrita de forma individualizada, administrada en el momento del pico de [HCO₃⁻] en sangre, mejoraba el rendimiento en ejercicios intermitentes de alta intensidad bajo condiciones agudas de hipoxia. Es decir, es dosis dependiente, en este estudio se han hallado efectos

beneficiosos con la administración de 0.3 g NaHCO_3^- /kg BM. Pero aun con la estrategia de individualización del suplemento, las molestias gastrointestinales son manifiestas, como por ejemplo el participante n° 9 que padeció molestias GI considerables y a consecuencia tuvo un efecto ergolítico.

Comparando los estudios de Gough LA et al, 2017² y de Deb SK et al, 2018⁷ en primera instancia percibimos una similitud en cuanto a la dosis y al diseño experimental, en el que el artículo de Gough LA et al, 2017² consiste en la realización de una prueba de carrera en cicloergómetro de 4 km a contrarreloj, con diferentes dosis de NaHCO_3^- (0.2 g NaHCO_3^- /kg BM y 0.3 g NaHCO_3^- /kg BM), y en el estudio de Deb SK et al, 2018⁷ los participantes del grupo experimental ingieren una dosis de 0.3 g NaHCO_3^- /kg BM, por lo tanto también es individualizada y la prueba consiste en un test intermitente en un cicloergómetro con repeticiones de intervalos de trabajo de 60 seg y descanso de 30 seg hasta el agotamiento. En ambos estudios se midió la concentración de HCO_3^- (después de la ingesta de NaHCO_3^-) hasta llegar al máximo de alcalosis, para así saber en qué momento es idóneo, en cada individuo, empezar el ejercicio. Finalmente, los autores del estudio de Gough LA et al, 2017² exponen que el uso del suplemento NaHCO_3^- individualizado antes del ejercicio provoca respuestas reproducibles en el rendimiento y en la fisiología, y ambas dosis, 0.2 g NaHCO_3^- /kg BM y 0.3 g NaHCO_3^- /kg BM, produjeron un balance ácido-base en sangre y un rendimiento parecido, sin diferencias entre dosis, insinuando, según los autores que ambas cantidades pueden usarse como ayuda ergogénica, aunque la mayor dosis tiene más probabilidad de padecer efectos secundarios GI. Y en el estudio de Deb SK et al, 2018⁷ los autores argumentan que la ingesta de NaHCO_3^- en el momento individualizado antes de la ejecución de una prueba física, mejora la tolerancia al ejercicio y el trabajo realizado en ejercicios intermitentes de alta intensidad, bajo condiciones agudas de hipoxia. Por consiguiente, esta estrategia nutricional puede ofrecer una ayuda ergogénica en ejercicios de alta intensidad intermitentes bajo condiciones de hipoxia.

CONCLUSIÓN

Tendiendo presente los principales objetivos de nuestra revisión, vamos a hacer una conclusión general de cada suplemento en base a la bibliografía consultada.

Hemos observado que el suplemento de creatina con una precarga de 6 días con 20 g creatina/día y después con un mantenimiento de 2 g creatina/día se podría decir que desarrollaría un efecto ergogénico en el deportista consumidor, ya que con la suplementación aumentó la fuerza muscular máxima en ejercicios de alta resistencia y menguó el daño muscular. Esta mejora del rendimiento se vería reflejada tanto en el tren superior como inferior. El suplemento actuaría de forma crónica.

En cuanto a la cafeína, el estudio en que los participantes solo consumieron 3 mg cafeína/kg BM, una hora antes de la prueba de baloncesto sí tuvo un efecto ergogénico, se percibió un aumento significativo del número de tiros libres intentados y logrados, del número de rebotes ofensivos y rebotes totales y del número de asistencias, y el índice de rendimiento también mejoró. Pero en el otro estudio, una parte de los participantes consumían un preparado comercial que contenía cafeína al igual que muchos más ingredientes, entre ellos creatina y beta-alanina, y otro suplemento parecido en composición pero sin cafeína y después un placebo, finalmente no se pudo saber qué efectos eran causa de qué componente de la bebida comercial, así que no se pudo llegar a una conclusión y en definitiva no se pudo hacer una recomendación de ingesta para obtener efectos ergogénicos. La cafeína podría causar insomnio en las horas siguientes a su ingesta. La cafeína actuaría de forma aguda.

El zumo de remolacha rico en nitratos en una dosis entre 6.5 y 12.9 mmol NO₃⁻/día mejoraría el rendimiento en ejercicios intermitentes de alta intensidad de forma crónica, a partir de 6 días de administración también podría reducir el agotamiento y el esfuerzo percibido en una prueba incremental. La ingesta de zumo de remolacha podría causar sensación de hinchazón de estómago y/o flatulencias. El efecto en este caso sería crónico.

El suplemento de β-alanina con una dosis aproximada de 5 a 5.8 g β-alanina/día tendría efectos ergogénicos en carrera prolongada y disminuyendo la concentración de lactato en sangre, aunque en el otro estudio no se presenciaron ayudas ergogénicas significativas. Se consideraría efecto crónico.

Bicarbonato de sodio en una dosis de 0.2 g NaHCO₃⁻/kg BM o 0.3 g NaHCO₃⁻/kg BM con la ingesta previa al ejercicio de forma individualizada gracias al pico de la concentración de bicarbonato, provocaría un aumento del rendimiento y respuestas fisiológicas reproducibles y mejoraría la tolerancia al ejercicio y el trabajo realizado en ejercicios intermitentes de alta intensidad, bajo condiciones agudas de hipoxia. Con la ingesta de bicarbonato sódico sería posible padecer náuseas, hinchazón, urgencia para ir al baño incluso diarrea, cuanto mayor sea la dosis, más probabilidad habría de sufrir efectos secundarios. El efecto sería agudo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wang C-C et al. Effects of 4-Week Creatine Supplementation Combined with Complex Training on Muscle Damage and Sport Performance. *Nutrients*. 2018; 10, 1640. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
2. Gough LA et al. The Reproducibility of 4-km Time Trial Performance Following Individualised Sodium Bicarbonate Supplementation: a Randomised Controlled Trial in Trained Cyclists. *Sports Medicine*. 2017; 3:34. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
3. Puente C, et al. Caffeine Improves Basketball Performance in Experienced Basketball Players. *Nutrients*. 2017; 9, 1033. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
4. Nyakayiru J et al. Beetroot Juice Supplementation Improves High-Intensity Intermittent Type Exercise Performance in Trained Soccer Players. *Nutrients*. 2017; 9, 314. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
5. Santana JO et al. Beta-Alanina Supplementation Improved 10-km Running Time Trial in Physically Active Adults. *Frontiers in Physiology*. 2018; 9, 1105. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
6. Wang C-C et al. Effects of creatine supplementation on muscle strength and optimal individual post-activation potentiation time of the upper body in canoeists. *Nutrients*. 2017; 9, 1169. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
7. Deb SK et al. Sodium bicarbonate supplementation improves severe-intensity intermittent exercise under moderate acute hypoxic conditions. *Eur.J. Appl. Physiol*. 2018; 118:607-615. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
8. Tinsley GM et al. Effects of two pre-workout supplements on concentric and eccentric force production during lower body resistance exercise in males and females: a counterbalanced, double-blind, placebo-controlled trial. *JISSN*. 2017; 14: 46. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
9. Balsalobre-Fernández C et al. The effects of beetroot juice supplementation on exercise economy, rating of perceived exertion and running mechanics in elite distance runners: A double-blinded, randomized study. *PLOS One*. 2018; 13(7): e0200517. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
10. Garnacho-Castaño MV et al. Effects of single dose of beetroot juice on cycling time trial performance at ventilatory threshold intensity in male triathletes. *JISSN*. 2018; 15:49. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
11. Domínguez R. Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s High-Intensity internal cycle ergometer test. *Nutrients*. 2017; 9, 1360. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
12. Brisola GMP et al. Effects of 4 week of β -alanine supplementation on aerobic fitness in water polo players. *PLOS One*. 2018; 13(10):e0205129. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
13. Australian Institute of Sport. ABCD classification system. 2017. Disponible en: <https://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements/classification>
14. Barbany J.R. Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento. 2ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo México; 2002. p. 33-35, 61-64, 128-142, 383-404. Disponible en: <https://roble.unizar.es/>
15. González González J.C. Ayudas ergogénicas y nutricionales. 1ª ed. Badalona (España): Editorial Paidotribo México; 2006. p. 51-52, 56-58, 61-63. Disponible en: <https://roble.unizar.es/>

16. Butts J et al. Creatine use in sports. *Sports Health*. 2017; 31-34. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
17. Domínguez R et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *JISSN*. 2018; 15:2. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
18. Castro M. Cap. 1, 2, 3, 15. Asignatura Nutrición en el Deporte. Universidad de Zaragoza. 2014. Disponible en: <https://moodle2.unizar.es/add/my/>
19. Gil de Antuñano N.P. et al. Ayudas Ergogénicas Nutricionales para las Personas que Realizan Ejercicio Físico. Documento de Consenso de la FEMEDE. Archivos de medicina del deporte. Federación Española de Medicina del Deporte. FEMEDE. 1984. Disponible en: <http://www.femede.es/page.php?/Publicaciones/DocumentosFEMEDE>
20. López-Samanes A et al. Use of nutritional supplements and ergogenic aids in professional tennis players. *Nutr Hosp*. 2017; 34(6):1463-1468. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
21. Peeling P et al. Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *IJSNEM*. 2018, 28, 178-187. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
22. Garthe I et al. Athletes and supplements: prevalence and perspectives. *IJSNEM*. 2018, 28, 126-138. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
23. World Anti-Doping Agency. WADA. Prohibited List. 2018. Disponible en: www.wada-ama.org
24. Freis T. Effects of sodium bicarbonate on prolonged running performance: A randomized, double-blind, cross-over study. *PLOS One*. 2017; 12(8): e0182158. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
25. Chilibeck PD et al. Effect of creatine supplementation during resistance training on lean tissue mass and muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Clin J Sport Med*. 2017; 8, 213-226. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
26. Grgic J et al. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *JISSN*. 2018; 15:11. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
27. Crisafulli DL et al. Creatine-electrolyte supplementation improves repeated sprint cycling performance: A double blind randomized control study. *JISSN*. 2018; 15:21. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
28. Furst T et al. β -Alanine supplementation increased physical performance and improved executive function following endurance exercise in middle aged individuals. *JISSN*. 2018; 15:32. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
29. Williams MH. Dietary supplements and sport performance: introduction and vitamins. *JISSN*. 2004; 1(2):1-6. Disponible en: <https://www.nih.gov/health-information>
30. Spriet LL. Recent Advances in Sport Nutrition. *Sports Med*. 2014; 44(1):S3-S4. Disponible en: <https://www.nih.gov/health-information>