

**UNIVERSIDAD CAMILO JOSÉ CELA**  
**FACULTAD DE SALUD**

***MÁSTER EN FISIOTERAPIA Y  
READAPTACIÓN EN EL DEPORTE***

**Curso Académico 2018 / 2019**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Efectos de la suplementación con betalanina en la  
fatiga en sujetos que realizan ejercicio interválico  
de alta intensidad. Ensayo clínico aleatorizado  
simple ciego**

**Autor:** Álvaro Jesús Sánchez de Piña Cortés

**Tutora:** Cristina Martínez Roldán

# Índice

<u>Resumen</u> .....	página 3
<u>Introducción</u> .....	página 5
<u>Objetivos</u> .....	página 7
·Objetivos específicos.....	página 7
·Hipótesis.....	página 7
<u>Metodología</u> .....	página 8
·Sujetos de estudio.....	página 8
·Diseño.....	página 8
·WOD a realizar – ejercicios.....	página 10
·Variables.....	página 12
·Métodos de evaluación.....	página 12
<u>Recogida y análisis de datos</u> .....	página 14
<u>Equipo investigador</u> .....	página 14
<u>Resultados</u> .....	página 15
<u>Discusión</u> .....	página 15
<u>Conclusión</u> .....	página 17
<u>Bibliografía</u> .....	página 18
<u>Anexo</u> .....	página 26

## Resumen

**Introducción:** La betalanina es un aminoácido no esencial con especial relevancia sobre el rendimiento muscular por su influencia sobre la carnosina. Ésta, tiene una importante función a nivel intracelular, como antioxidante, reserva de ATP y sensibilidad del calcio en las fibras musculares.

**Objetivos:** Evaluar, durante 4 semanas, los efectos de la suplementación con betalanina en la fatiga neuromuscular en sujetos que realizan HIIT.

**Diseño:** Ensayo clínico aleatorizado simple ciego.

**Sujetos:** De los 34 sujetos de la muestra, solo 29 pasaron a análisis según los siguientes criterios de inclusión: realizar HIIT durante los últimos 3 meses al menos 3 veces/semana, tener entre 18 y 50 años y no tener enfermedades contraindicadas con la práctica de ejercicio o ser intolerantes a la betalanina. De estos, 15 recibieron intervención tipo A y 14 tipo B.

**Intervención:** los sujetos realizaron un HIIT el día 1 y lo repitieron a las 4 semanas tras protocolo de suplementación con 4 gr/d de sacarosa (grupo A) y betalanina (grupo B).

**Variables:** Altura de vuelo, potencia de salto e intensidades metabólica y percibida del ejercicio.

**Resultados:** La suplementación con betalanina no produjo cambios estadísticamente significativos en la intensidad percibida o metabólica del ejercicio ( $p < 0,05$ ) pero sí en altura de vuelo y potencia de salto en el grupo B.

**Conclusiones:** La suplementación con betalanina no produjo cambios en la fatiga en sujetos que realizan HIIT con un protocolo de 4gr/d durante 4 semanas, pero sí se producen mejoras en el rendimiento deportivo, motivado, entre otros, por adaptaciones al ejercicio.

**Palabras clave:** Betalanina, carnosina, fatiga percibida, fatiga muscular, HIIT, rendimiento deportivo

## **Abstrac**

**Background:** Betalanine is a non-essential amino acid with special relevance on muscle performance due to its influence on carnosine. This one has an important function as an antioxidant, ATP reserve and calcium sensitivity in muscle fibers.

**Objective:** To evaluate, for 4 weeks, the effects of betalanine supplementation on neuromuscular fatigue in subjects performing HIIT.

**Design:** Single blind randomized clinical trial.

**Subjects:** Of the 34 subjects in the sample, only 29 underwent analysis according to the following inclusion criteria: perform HIIT over the last 3 months at least 3 times/week, be between 18 and 50 years old and not have diseases contraindicated with exercise or be betalanine intolerant. Of these, 15 received type A and 14 type B intervention.

**Intervention:** Subjects performed a HIIT on Day 1 and repeated it at 4 weeks after supplementation protocol with 4 gr/d sucrose (group A) and betalanine (group B).

**Variables:** Flight height, jump power and metabolic and perceived exercise intensities.

**Results:** Betalanine supplementation did not produce statistically significant changes in the perceived and metabolic intensity of exercise ( $p < 0.05$ ) but it did in the flight height and jumping power in group B.

**Conclusions:** Betalanine supplementation did not cause fatigue changes in subjects performing HIIT with a 4gr/d protocol, but there are improvements in athletic performance, motivated, among others, by adaptations to exercise.

**Keywords:** betalanine, carnosine, perceived fatigue, muscle fatigue, HIIT, sport performance

## Introducción

La betalanina es un aminoácido no esencial encontrado en nuestra alimentación cotidiana. Nuestro cuerpo puede también obtenerla en el hígado a partir del catabolismo de nucleótidos de pirimidina. Este aminoácido tiene especial relevancia sobre el rendimiento muscular por su influencia sobre la carnosina (1,2). La carnosina es un dipéptido citoplasmático, compuesto por los aminoácidos betalanina y L-histidina, almacenado abundantemente en el músculo esquelético de muchos vertebrados, incluidos los humanos (3). La síntesis de carnosina es catalizada por la sintasa de carnosina (encargada de mediar en la síntesis de la misma) en una reacción que requiere de los aminoácidos L-histidina y betalanina (4). El problema radica en que el músculo no es capaz de absorber desde el torrente sanguíneo la carnosina de forma directa, ya que las concentraciones de betalanina muscular son bajas comparadas con las de histidina y la de carnosina sintentasa (5,6). Asimismo, la síntesis endógena de betalanina se centra en unas pequeñas células hepáticas, por lo que se ha llegado a la conclusión de que la síntesis de carnosina en el músculo esquelético esta limitada por la disponibilidad de betalanina en la dieta (1,7,8,9).

Las funciones de la carnosina y su concentración en nuestro organismo están muy relacionadas con el rendimiento deportivo. Se encuentra implicación con los mecanismos de regulación del pH (10), ya que, aunque el principal tamponador de los H<sup>+</sup> sea el bicarbonato (11,12) y la fosfocreatina, la carnosina tiene también una función importante de tampón a nivel intracelular (13,14). Quizás este sea el beneficio más destacado, pero también se ha demostrado que la carnosina tiene una importante función antioxidante, no solo en la reserva de ATP a través de la activación de la miosina ATPasa, sino también en el incremento de sensibilidad del calcio en las fibras musculares (15,16,17), lo que produce un aumento de la fuerza muscular disminuyendo la fatiga neuromuscular gracias a las mejoras en la fase contracción-excitación (18,19,20). En este sentido, se han observado diferencias de concentración de carnosina entre los distintos tipos de fibras musculares (21,22). La literatura nos habla de unas cantidades de carnosina en torno a 1 o 2 veces mayores en las fibras de contracción rápida o tipo II, que en las fibras de contracción lenta o tipo I, además de poseer un mayor contenido en creatina (3,23,24). De hecho, se ha demostrado que los sujetos que realizan deportes explosivos, como ejercicios interválicos de alta intensidad (HIIT), tienen una mayor composición de fibras musculares tipo II (25). Esto se debe a que el deporte en cuestión supone una exposición prolongada a condiciones hipóxicas y de acidosis por lo que serán capaces de incrementar la síntesis de testosterona sobre

los niveles normales (26). Siguiendo esta línea, recientemente se ha descubierto que una dieta con suplementación de betalanina, de entre 4 y 10 semanas de duración, con una dosis de 4,8 gramos/día, aumenta entre un 60 y un 80% los niveles de carnosina en ciclistas, logrando así retrasar el proceso de fatiga y los mecanismos precursores de la misma (27,28). No obstante, para que se produzca un incremento significativo en las reservas musculares de carnosina haría falta un periodo mínimo de 2 semanas con una dosis de 1,6 gramos por día (29). El exceso de betalanina y producido será excretado a través de la orina (30).

En otro orden de cosas, los HIIT combinan diferentes tipos de ejercicios de fuerza, halterofilia, cardiovasculares, pliométricos y habilidades gimnásticas basadas en movimientos funcionales y naturales (31). El objetivo de estos entrenamientos, generalmente, es lograr una vida saludable y funcional junto con la mejora de fuerza, hipertrofia, oxidación de grasas, mejora cardiovascular, resistencia muscular y optimización de los movimientos corporales. Paralelamente se producen multitud de adaptaciones fisiológicas y mejoras, destacando en estos entrenamientos la mejora del consumo de oxígeno máximo (VO<sub>2</sub> max.) (32). Esta práctica deportiva incluye ejercicios técnicamente exigentes que requieren de picos de potencia sostenidos en el tiempo, hecho que podría provocar altos niveles de fatiga neuromuscular, intensidad metabólica y percibida. A la par, dado que la fatiga modifica la biodinámica del movimiento, la incidencia lesional en este tipo de deportes es elevada, sobre todo en hombros, caderas y rodillas y se hace necesario prestarle especial atención durante la realización de ejercicio (33,34).

Definimos la fatiga como la falta de energía o la incapacidad de mantener la potencia necesaria para la manifestación de una o varias acciones a una determinada intensidad (35). Si hablamos de su origen, ésta puede ser central, si se origina en el SNC, o periférica, si su origen es fisiológico o muscular, incluyendo en este grupo la fatiga o intensidad percibida (36). Dentro de la fatiga periférica, se ha intentado en ocasiones establecer una relación entre la fatiga fisiológica o neuromuscular y la percibida. Debemos tener en cuenta que la fatiga fisiológica influirá significativamente en la fatiga percibida por el sujeto, pero no será determinante (37,38). Por otro lado, entendiendo la fatiga neuromuscular como *la incapacidad del sistema neuromuscular para producir energía alrededor de una articulación* (39,40), encontramos entre los mecanismos precursores, la inhibición de la contracción muscular debido a la acumulación de productos metabólicos finales como el lactato o ácido láctico.(41) El aumento de las concentraciones de lactato disminuye la capacidad contráctil del

músculo debido a la acumulación de iones de hidrógeno reduciendo el pH y generando acidosis metabólica e inhibición de la fosfofructoquinasa (42). La fatiga muscular se ve reflejada en variables mecánicas como la fuerza, altura o potencia de vuelo. Por tanto, es el resultado de las propiedades contráctiles deterioradas de músculo o de su control neuromuscular (43).

Fisiológicamente, los HIIT tienen como vía energética principal la resintetización de ATP a través de la fosfocreatina (44,45), siendo la acción de la creatinkinasa un factor limitante (46). Estas reservas de fosfocreatina suelen agotarse entre los 10 y los 30 segundos de realización de un HIIT (47). Por tanto, este agotamiento de las reservas es el principal factor de fatiga neuromuscular durante la realización de dicho ejercicio, no siendo tan importante la disminución del pH en esta variable (48). A medida que aumentan las de series de HIIT las reservas de fosfocreatina se agotan, siendo primordial el metabolismo anaeróbico láctico (49).

## **Objetivos**

Evaluar los efectos de la suplementación durante 4 semanas con Betalanina en la fatiga neuromuscular en sujetos que realizan HIIT.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar los efectos de la suplementación durante 4 semanas con betalanina en la intensidad metabólica y percibida del ejercicio en sujetos que realizan HIIT.
2. Comprobar intrasesión como se comporta la fatiga neuromuscular en los sujetos que realizan HIIT.
3. Medir la pérdida de potencia y de capacidades musculares medidas por salto vertical de sujetos que realizan HIIT intrasesión.
4. Observar la mejora del rendimiento deportivo de los sujetos tras 4 semanas de entrenamiento.
5. Establecer una posible relación entre la intensidad metabólica y percibida, la fatiga neuromuscular y el rendimiento deportivo tras un entrenamiento HIIT.

### **Hipótesis**

La suplementación con betalanina en sujetos que realizan HIIT tiene mejoras en los niveles de fatiga neuromuscular y en los niveles de intensidad metabólica y percibida del ejercicio.

## **Metodología**

El presente estudio es un ensayo clínico aleatorio simple ciego (entre sujetos) realizado en la instalación deportiva FSC Huelva Fitness, en la Avenida de las Fuerzas Armadas, Polígono La Lunita 4, de Huelva. Se ha llevado a cabo conforme a la legislación nacional para la protección de datos (LOPD 3/2018) y la declaración de Helsinki (50), por lo que todos los sujetos fueron informados y dieron su consentimiento por escrito antes de su inclusión en el estudio.

### **Sujetos de estudio**

La muestra ha sido de 34 sujetos, de los cuales solo 29 pasaron finalmente a análisis 29, 3 no cumplieron los criterios de inclusión y 2 abandonaron por aparición de efectos secundarios (diagrama de flujo en Anexo). La selección de la muestra se realizó por muestreo no probabilístico según los criterios de inclusión, siendo estos: ser sujeto no sedentario, que haya realizado HIIT durante los últimos 3 meses, tener entre 18 y 50 años y realizar HIIT al menos 3 veces a la semana.

Se han excluido a pacientes con algún tipo de enfermedad contraindicada con la práctica de ejercicio: tales como problemas del SNC, metabólicos, cardiovasculares, embarazadas...además de intolerantes o alérgicos a la betalanina o la sacarosa, además se han excluido a sujetos que estén suplementándose con proteínas u otros aminoácidos.

### **Diseño experimental**

El grupo A, constituido por 15 sujetos, ha sido suplementado con sacarosa de la marca *Hacendado*. Por su parte, el grupo B, integrado por 14 sujetos, ha sido suplementado con betalanina de la marca *HSN Raw*. Previa revisión del cumplimiento de los criterios de inclusión y tras haber firmado su consentimiento informando constatando su comprensión del procedimiento, fines, efectos y objetivos del estudio, cada sujeto ha sido asignado aleatoriamente a uno de los dos grupos mediante el software Graphpad. En cuanto a la encapsulación de los suplementos, han sido utilizadas 8000 cápsulas del tamaño 1, de 0,8 gramos. El encapsulador utilizado ha sido manual, de la marca *Capsunorm*, para 100 capsulas habiéndose realizado dicho procedimiento en las instalaciones de la Universidad Camilo José Cela de Madrid.



El estudio ha tenido una duración de 4 semanas, donde ambos grupos han realizado el primer día un HIIT para generar fatiga y trabajar en rangos cercanos de su VO<sub>2</sub> max, entrenamiento que ha sido repetido tras el protocolo de ingesta de betalanina o sacarosa a las 4 semanas. Este entrenamiento ha sido realizado en el mismo día de la semana tanto en la medición pre como en el post, teniendo el mismo entrenamiento también el día anterior para no sesgar los resultados por fatiga acumulada. Todos los sujetos realizaron un calentamiento previo al “work of day” (WOD) a realizar, que estaba compuesto por: ejercicios de movilidad articular, 2 minutos en cada máquina a realizar, 10 wall ball con balón de 6 kg, 10 pesos muertos con la barra (15 kg chicas/20 kg chicos), 10 sentadillas autopeso y 10 flexiones con las rodillas en el suelo. Tras esto, los sujetos fueron pesados en una báscula y realizaron tres saltos verticales contramovimiento (CMJ) en la plataforma, de la que se sacó la altura y potencia del mismo. En lo referente al WOD, entre los 30 segundos y los 3 minutos próximos, se ha realizado la medición del ácido láctico, se ha preguntado al sujeto por su percepción del esfuerzo que fue apuntado en la escala Borg modificada y se han repetido de nuevo los 3 saltos. La razón por la que se han realizado las mediciones entre los 30 segundos y los 3 minutos de la finalización del entrenamiento, es por que los niveles de fosfocreatina son muy bajos tras acabar un ejercicio de este tipo durante ese tiempo, por lo que los niveles de fatiga son elevados (35). A partir del 4º minuto, estos niveles aumentan, pudiendo sesgar el resultado de la medición.

Al finalizar el entrenamiento, cada sujeto recibió la suplementación que le correspondía según la aleatorización, y le fue explicada pormenorizadamente la posología del mismo. Tras 4 semanas, se realizó el mismo procedimiento.

Para la realización de este proyecto de investigación ha sido necesario considerar la posología de la suplementación a administrar y los posibles efectos adversos que pudieran sufrir los sujetos por la ingesta de dicho suplemento. Los niveles de betalanina en el plasma sanguíneo se recuperan pasadas unas 3 horas después de la ingesta, por ello hemos dejado este periodo de margen entre tomas. Entre los 30 y 40 minutos posteriores a la ingesta estos niveles han descendido un 50%. En cuanto a los efectos adversos mas conocidos por la ingesta de betalanina serían la aparición de parestesias, picores y, de forma poco frecuente, dolor de garganta (5,8,51). Esta parestesia es una sensación de hormigueo o adormecimiento de la piel y se ha logrado demostrar que aparece de forma leve tras la ingesta de 10 mg por kilo de peso, desapareciendo casi totalmente una hora después de su ingesta (5,30) y se puede producir por el aumento de la sensibilidad de las neuronas nociceptivas encargadas de

transmitir el dolor neuropático (52,53). Por tanto, siguiendo lo aportado por los estudios recientes acerca de la suplementación óptima, para evitar los efectos adversos propios de la ingesta de betalanina se ha propuesto la suplementación ideal de aproximadamente 0,8 gramos de Betalanina cada 3-4 horas, llegando a una ingesta diaria aproximada de 4-5 gramos o entre 50 y 60 mg/kg/día (10, 54). Esta posología de ingesta intermitente y gradual a lo largo del día tiene un efecto mayor sobre la retención de betalanina útil para la síntesis de carnosina ya que, disminuye la eliminación de dicho compuesto vía urinaria (55). En conclusión, la suplementación con betalanina no supone riesgos importantes para la salud de las personas, siendo esta la dosis óptima para producir efectos sobre la fatiga y por ende el rendimiento deportivo, sin producir efectos adversos (56).

La suplementación tendrá una duración de 4 semanas en las que los sujetos tomarán una dosis total de 4 gramos diarios de betalanina o de placebo. Estos suplementos están divididos en 5 dosis de 0,8 gramos. Por tanto, el sujeto deberá tomar una cápsula después de una comida según describe la literatura (desayuno, media mañana, almuerzo, media tarde y cena). Se recomienda esta opción, ya que se han observado que no se producen parestesias al ingerir betalanina en una solución de hidratos de carbono (3,57). Además, la administración de este suplemento junto a alimentos reduce un 50% las concentraciones máximas en suero, debido al proceso de enlentecimiento del vaciado gástrico (10). Los sujetos que tengan algún tipo de efecto secundario al finalizar el estudio podrán ponerse en contacto con el investigador para buscar una solución o poner fin a su participación en el mismo.

### **WOD a realizar - ejercicios**

El entrenamiento, ha constado de un calentamiento previo, un WOD y un ejercicio accesorio de movilidad articular o vuelta a la calma. El WOD a realizar ha sido formato "amrap", es decir, durante un tiempo determinado el sujeto ha realizado las máximas repeticiones del ejercicio propuesto. El HIIT ha estado formado por ejercicios aeróbicos y anaeróbicos, teniendo el siguiente formato y técnica: 2 rondas de cada grupo de 2 minutos de trabajo y 1 minuto de descanso entre series. Tiempo total 23 minutos. Orden A-B-C-D-A-B-C-D.

- a) Remo 14 calorías hombres / 10 calorías mujeres -> entonces máximas Wall ball hasta acabar el tiempo, 9 kg hombres, 6 kg mujeres, a una altura de 3 metros para los hombres y 2,75 para las mujeres.

- b) Assault bike 14 calorías hombres / 10 mujeres -> entonces máximos pesos muertos posibles hasta agotar el tiempo con el 75% del peso corporal.
- c) Skyerg 14 calorías hombres / 10 mujeres -> entonces máximas push up posibles hasta acabar el tiempo.
- d) Bike 14 calorías hombres / 10 calorías mujeres -> entonces máximas subidas al cajón a una altura de 60 cm para los hombres y 50 cm para las mujeres.

**Remo:** ejercicio cardiovascular que combina tren superior e inferior. En él, la posición inicial es similar a la de las sentadillas. Ambos pies sobre los apoyos, las rodillas flexionadas, manos mirando hacia abajo tomando las manijas, brazos estirados, tronco inclinado hacia delante y el abdomen tenso. Tras esto llevamos la manija hacia nuestro esternón a la vez que realizamos una flexión de rodillas y caderas y volvemos a la posición inicial.

**Wall Ball:** se trata de lanzar un balón de un determinado peso a una diana que se encuentra a una determinada altura, al caer el balón debemos cogerlo y realizar una sentadilla profunda, volviendo a lanzarlo al ponernos de pie.

**Assault bike:** ejercicio cardiovascular que combina tren superior y tren inferior en el que se realiza con los pies un movimiento circular similar a la bicicleta estática ayudándonos con los brazos en un movimiento de flexoextensión de codo.

**Peso muerto:** Ejercicio a realizar con barra en el que debemos comenzar con ella barra cerca de nuestro cuerpo, rodillas y caderas flexionadas, espalda recta, pecho fuera y realizar lentamente una triple extensión de tobillo, rodilla y cadera hasta posición neutra.

**Skyerg:** Ejercicio cardiovascular que comienza con manos y pies separados a la misma distancia de los hombros y con las manos ligeramente por encima de la cabeza. Los brazos deben estar ligeramente flexionados. El sujeto debe coger las empuñaduras y tirar hacia abajo. El ejercicio concluye con las rodillas ligeramente flexionadas y los brazos extendidos hacia abajo junto a los muslos para finalmente volver a levantar los brazos y enderezar el cuerpo volviendo así a la posición inicial.

**Push up:** ejercicio que comienza en posición de plancha, las manos se colocaran debajo de los hombros, rodillas en extensión y cadera en posición neutra, con leve flexión dorsal de los tobillos. El movimiento se realizará intentando elevarnos del suelo con una extensión de codo y volviendo a tocar el pecho en el suelo.

**Bike:** ejercicio cardiovascular que entrena el miembro inferior, en él nos sentaremos en una bicicleta estática y utilizando los pedales realizaremos movimientos armónicos de flexoextensión de miembros inferiores.

**Step up:** el sujeto subirá con una pierna a un cajón de madera de una determinada altura debiendo finalizar encima de este con una triple extensión, tras esto bajar con una pierna y volver a repetir.

### **Variables**

Nuestra variable principal es la fatiga neuromuscular, definida como *la incapacidad del sistema neuromuscular para producir energía alrededor de una articulación*. Esta variable ha sido medida mediante la altura de vuelo en CMJ, que ha resultado ser una prueba de elección fiable para la obtención de datos sobre la fatiga neuromuscular (40,58).

La intensidad o fatiga percibida del esfuerzo es la sensación consciente del esfuerzo que se ejerce durante una tarea o esfuerzo físico, y es una de las experiencias subjetivas que acompañan a las acciones voluntarias. Esta variable se ha medido mediante la Escala de Esfuerzo Percibido (EEP) (59). Esta escala se encuentra validada en la versión en español (60).

La intensidad metabólica del esfuerzo ha sido medida a través de la concentración de ácido láctico en sangre. El aumento de la concentración de esta sustancia disminuye la capacidad contráctil del músculo por diferentes factores, indicando una concentración sanguínea elevada del mismo una intensidad elevada del ejercicio (41).

El rendimiento deportivo ha sido medido a través de la potencia y la altura de vuelo en CMJ. Para ello se ha utilizado una plataforma de salto vertical.

### **Métodos de evaluación.**

La altura de vuelo ha sido medida mediante la plataforma crhonojump. Este sistema mide a través de un software el contacto de la persona con unas barras, que se activan cuando la persona ésta está sobre ellas. Las pruebas de salto vertical se han

utilizado tradicionalmente en la evaluación de diferentes aspectos físicos. Este CMJ se correlaciona y es un medidor fiable de la fatiga neuromuscular, (61) además de contar con una fiabilidad alta (62).

La prueba se realizó el primer y último día del estudio, tras haber realizado el entrenamiento propuesto. Ha sido entonces cuando el sujeto ha realizado tres saltos con 30 segundos de descanso entre ellos, tomando como altura la media de las tres pruebas. Para la realización del CMJ, el atleta ha sido colocado entre las barras magnéticas o dentro de la plataforma, mirando al frente, colocando ambas manos en las caderas. A continuación, en un movimiento descendente rápido y continuo dobla las rodillas hasta un ángulo de flexión de 90° manteniendo el tronco lo más próximo al eje vertical posible (espalda recta y desde allí genera la impulsión vertical que lo eleva). Durante toda la fase de vuelo el atleta ha mantenido sus miembros inferiores y tronco en completa extensión, hasta la recepción con la plataforma.

La medición de la intensidad metabólica del ejercicio se realizó mediante el análisis del ácido láctico para se ha utilizado el medidor lactate pro 2, del que ha sido probada su validación (63). El lactato o ácido láctico es un compuesto químico que desempeña importantes roles en varios procesos bioquímicos de nuestro cuerpo. Es producido a partir del ácido pirúvico, mediante la enzima lactato deshidrogenasa (LDH), en procesos de fermentación (64). El lactato se produce en el metabolismo y sobre todo durante el ejercicio, pero no aumenta su concentración hasta que el índice de producción no supera al de eliminación. La concentración de lactato en la sangre usualmente es de 1 o 2 mmol/l en reposo y aumenta de forma considerable durante el ejercicio intenso, siendo un medidor fiable de la intensidad metabólica del ejercicio (65). La relación entre la concentración de lactato en sangre y el consumo de oxígeno está fuera de toda duda. La relación del incremento abrupto de la lactatemia ha sido demostrada cuando se sobrepasa un determinado nivel de consumo de oxígeno, también llamado "umbral anaeróbico" (65). También se ha establecido una correlación destacable entre la concentración de ácido láctico y el pH sanguíneo (66,72). Sobre el ácido láctico encontramos numerosos estudios vinculados a su aparición durante la práctica de deporte y su comportamiento limitante para el rendimiento. Principalmente, se ha demostrado que el aumento de la lactatemia provoca durante el ejercicio una acidosis metabólica, aumento de la ventilación pulmonar, cambio en la cinética del consumo de oxígeno y por tanto disminución de la resistencia al ejercicio entre otros aspectos (67).

## **Análisis estadístico.**

El análisis de los datos se ha realizado mediante el programa estadístico SPSS (versión 22.00) y su recogida mediante hojas de cálculo.

Los datos fueron expresados con medias, desviación estándar, intervalos de confianza y porcentajes cuando los datos lo requerían. A través de Shapiro-Wilks se analizó la normalidad o distribución normal de los datos. Todas las variables excepto la Escala de esfuerzo percibido siguieron una distribución normal y homogénea dentro de los datos basales por lo que se realizaron pruebas paramétricas, mas concretamente la T de Student. La variable anteriormente mencionada que no se encontró dentro de la normalidad  $p < 0,05$  fue analizada con la U de Mann Withney. Para el análisis diferencial intergrupar se utilizo la prueba t de muestras independientes, mientras que para aquellas que no cumplían normalidad se uso u de Mann Withney. Para análisis intragrupal se utilizo la prueba t de muestras relacionadas y en caso de no ser homogénea se usó Wilcoxon. Las variables cualitativas fueron analizadas mediante bondad de ajuste con Chi cuadrado. Las correlaciones bivariantes se analizaron mediante correlación de Pearson o Spearman según requirieron los datos. Se empleó en modelo de análisis de varianza (ANOVA) de 4 medidas repetidas y un tamaño del efecto medio de 0,20 para obtener una potencia estadística del 95% ( $1-\beta$  error de probabilidad) con un nivel de error de probabilidad  $\alpha$  de 0,05. Con todo ello, se estimó un tamaño muestral de al menos 27 sujetos en total Se estableció para una confianza de 95%, un nivel de significación p menor de 0,05, valor que se considera adecuado de forma universal en investigaciones biomédicas.

## **Equipo investigador**

El estudio ha sido realizado por un investigador principal, quien ha monitorizado la sesión de entrenamiento, aleatorizado, ha realizado las mediciones pertinentes y ha pasado e informado a los sujetos previamente sobre el estudio y la posología del mismo para su posterior firma del consentimiento informado. Además, ha contado con la colaboración de otros investigadores. Un investigador experto en ciencias de la actividad física y el deporte, encargado de la correcta rigurosidad y realización técnica de los ejercicios durante las pruebas y una investigadora experta en farmacología, encargada de la posología y protocolo de encapsulación.

## Resultados

En la tabla 1 (anexo) se presentan los datos basales de los 29 sujetos en la que podemos observar el salto 1 y 2 preintervención, la potencia 1 y 2 preintervención, la escala de esfuerzo percibida pre intervención, ácido láctico preintervención y el peso. En la tabla 2 (anexo) observamos los datos estadísticos descriptivos, no observando cambios estadísticamente significativos para la variable propuesta intergrupo. En la tabla 3 (anexo) observamos la ANOVA de las medidas repetidas, a partir de la prueba T Student no observando cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) en los análisis intergrupo de las variables EEP y ácido láctico. Observamos en la tabla 4 (anexo) que no existe una interacción significativa de los factores grupo x tiempo en la variable salto  $p > 0,05$   $n = 0,396$ . En la tabla 5 del anexo se observan cambios estadísticamente significativos en la relación de los tiempos 2 y 4 (pre y post) en el grupo de betalanina respecto a la variable salto.  $P < 0,05$   $n = 0,027$  no observándose estos cambios en la relación del resto de tiempos en ninguno de los dos grupos. En la tabla 6 situada en el anexo observamos que no existe una interacción significativa de los factores grupo x tiempo en la variable potencia  $p > 0,05$   $n = 0,266$

## Discusión

En base a los resultados obtenidos, se observa como los únicos cambios estadísticamente significativos se han producido en las variables del rendimiento deportivo (el salto vertical y la potencia de salto), y solo en el grupo que ha sido suplementado con betalanina. No se han observado cambios en ninguna otra variable, en este caso en las de fatiga, ni en intensidad metabólica del ejercicio ni en intensidad percibida. Realizando una revisión a la literatura podemos justificar esos resultados obtenidos por varias razones y contestar así a nuestra hipótesis y objetivos del estudio.

Tal y como dijera Osnes y Hermanses en 1972, la glucólisis anaeróbica es la fuente de energía dominante durante el HIIT comprendido entre los 30 segundos y los 5 minutos de duración. A medida que avanza el ejercicio, los iones de  $H^+$  producidos por la disociación del ácido láctico en lactato llevan a la disminución del pH y por tanto a la acumulación máxima de iones de  $H^+$  (68). Esto se produce a partir de los 4 minutos aproximadamente. En nuestro estudio, los sujetos han realizado 8 intervalos de 2 minutos de trabajo a altas intensidades, algo que explicaría el hecho de no tener cambios significativos intra ni intergrupo respecto a la variable de intensidad metabólica del ejercicio medida mediante el ácido láctico.

El aumento de la acidosis conlleva a un incremento de la percepción subjetiva del esfuerzo (69) y da lugar a disminuciones de la actividad electromiográfica que conllevará fatiga muscular (70). Además, diversos autores justifican la interferencia de la acidosis en la producción de fuerza y fatiga (71), demostrando que la acumulación de H<sup>+</sup> en el músculo interrumpe la resíntesis de la fosforilcreatina (72) inhibe la glucólisis (73) y empeora la contractibilidad muscular, algo que, en teoría ha podido producirse en estas variables intrasesión en ambos grupos (74). Del mismo modo, su acumulación en sangre tiene un efecto sobre la percepción del esfuerzo durante la realización de HIIT (75). Esto explicaría que no se hayan producido cambios en las variables de fatiga, en las variables de fuerza intrasesión.

Tras 4 semanas de entrenamiento hemos observado cambios significativos en los niveles de salto vertical y potencia del mismo en el grupo de betalanina, unos datos que nos indican una mejora del rendimiento deportivo. Esto ha podido deberse a las adaptaciones fisiológicas producidas en los sujetos durante esas 4 semanas, ya que todos los sujetos entrenaban al menos 3 días por semana. Se ha visto que un programa de ejercicios HIIT 2 días por semana es eficaz para promover adaptaciones relacionadas con la salud cardiometabólica, depósitos de grasas, colesterol y factores psicosociales por lo que ha podido ser este el motivo por el que han mejorado su condición física y su VO<sub>2</sub> max, llegando a niveles de salto y fuerza más elevados (76).

Algunos autores avalan nuestros resultados, puesto que corroboran que este aumento de la capacidad de generar fuerza puede deberse a que la suplementación con betalanina podría actuar como un péptido de sacrificio para proteger la glicación, actuando de este modo de antioxidante y por tanto aumentando la sensibilidad del calcio en las fibras contráctiles (77). Este aumento de la sensibilidad de las fibras contráctiles es causado por las altas concentraciones de carnosina que permiten desarrollar fuerza de mantenida en las últimas etapas de la fatiga cuando la liberación de Ca<sup>2+</sup> normalmente suele disminuir (78). Otros autores sostienen que la suplementación con betalanina podría mejorar el rendimiento de manera indirecta ya que se ha verificado que cuando se ingiere una dosis de 3,2 gramos/día de betalanina junto a 10,5 gramos/día de creatina durante un periodo de 10 semanas se observó un efecto positivo sobre el volumen e intensidad del entrenamiento de fuerza realizado así como la intensidad del mismo y disminución de la masa grasa. Este estudio no tenía como criterio de exclusión la ingesta de creatina, por lo que indirectamente ha podido ser un factor determinante (79).



Van Thienen y Cols observaron mejoras en el pico de potencia y potencia media en un test de Wingate, tras la realización de una prueba a intensidades variables por encima y por debajo del máximo estado estable del lactato. Obteniendo un efecto ergogénico sobre el rendimiento en situaciones de prefatiga con un protocolo de 8 semanas y una dosis creciente de entre 2 y 4 gramos de betalanina. Nuestro WOD comprende ejercicios aeróbicos y anaeróbicos a máxima intensidad, por lo que esta teoría avala los resultados obtenidos (80).

Podemos por tanto decir que, afirmando lo ya propuesto por Bogdanis y Suzuki, una reducción del pH muscular no afecta al rendimiento de los sujetos que realizan HIIT. De este modo, existe una correlación en cuanto al rendimiento entre la carnosina muscular y el tipo de fibra muscular, ya que en los ejercicios realizados las fibras tipo II son más importantes que las I. Por lo que el tipo de fibra ha predominado sobre los niveles de pH (81). Por tanto, citándonos a lo ya publicado por Hill en 2007, podría ser que la dosis haya sido insuficiente para tener un efecto mayor en este tipo de ejercicios, aunque en deportes como marcha o ciclismo el programa de 4 semanas mejoró un 13% la fatiga de los sujetos, se descubrió que aumentó un 3,2% adicional a las 10 semanas, no obteniendo cambios en el grupo control (82).

## **Conclusiones**

La suplementación con 5gr/d de betalanina durante 4 semanas en sujetos que realizan HIIT no produce cambios estadísticamente significativos en la fatiga, ni en la intensidad metabólica del ejercicio ni en la percibida, en cambio, sí los produce en el rendimiento. Un programa de ingesta de betalanina de 4 semanas mejoró la capacidad de los sujetos, evaluada a través de CMJ y potencia. Sería interesante de cara a investigaciones futuras, poder realizar estudios cruzados con un mayor número de sujetos y dosis, con periodos de lavado más extensos y controlando todo tipo de suplementación de los sujetos, ya que este estudio ha contado con limitaciones tales como el ejercicio rutinario que realicen los sujetos, la imposibilidad de seguimiento de tomas, la interferencia de la rutina de ejercicio para que no sesgue los resultados, imposibilidad de cegamiento, imposibilidad de seguir el entrenamiento durante las 4 semanas, complicación para acceder al texto completo de numerosos artículos, dificultad para ampliar periodo de lavado. Nuestro estudio será útil a la hora de tomar conciencia sobre la suplementación de los deportistas en los HIIT, siendo muy interesante estos resultados para diferentes profesionales del ejercicio y su prescripción.

## Bibliografía

1. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, Fallowfield JL, Hill CA, Sale C, Wise JA. The absorption of orally supplied Beta-Alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*. 2006; 30 (3): 279-89.
2. Matthews MM, Traut TW. Regulation of N-carbamoyl-beta-alanine amidohydrolase, the terminal enzyme in pyrimidine catabolism, by ligand induced change in polymerization. *J Biol Chem* 1987; 262: 7232-7.
3. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Sale C, Boobis LH, Kim CK, Wise JA. Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*. 2007; 32 (2): 225-33.
4. Saunders B, DE Salles Painelli V, DE Oliveira LF, DA Eira Silva V, DA Silva RP, Riani L, Franchi M, Gonçalves LS, Harris RC, Roschel H, Artioli GG, Sale C, Gualano B. Twenty-four Weeks of  $\beta$ -Alanine Supplementation on Carnosine Content, Related Genes, and Exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2017; 49 (5): 896-906.
5. Hoffman JR, Emerson NS, Stout JR.  $\beta$ -alanine supplementation. *Curr Sports Med Reports* 2012; 11(4): 189-96.
6. Skaper SD, Das S, Marshall FD. Some properties of a homocarnosine Y carnosine synthetase isolated from rat brain. *J Neurochem* 1973; 21: 1429-45.
7. Begum, G, Cunliffe, A, and Leveritt, M. Physiological role of carnosine in contracting muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15: 493–514, 2005.
8. Sale C, Saunders B, Harris RC. Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* 2010; 39: 321-33.
9. Sterlingwerff T, Decombaz J, Harris RC, Boesch C. Optimizing human in vivo dosing and delivery of  $\beta$ -alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amino Acids* 2012; 43(1): 57-65.
10. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, et al. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids* 2006; 30: 279-89.

11. Ashley A., Abbie E., Kristina L. Jeffrey R., and Joel T., Six weeks of high-intensity interval training with and without b-alanine supplementation for improving cardiovascular fitness in women., Biophysics Laboratory, Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma; and Metabolic and Body Composition Laboratory, Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma
12. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. *J Appl Physiol* 1986; 60: 472-8.
13. Quinn PJ, Boldyrev AA, Formazuyk VE. Carnosine: its properties, functions and potential therapeutic applications. *Mol Aspects Med* 1992; 13: 379–444.
14. Abe H. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochem* 2000; 65: 757-65.
15. Parker CJJ, Ring E. A comparative study of the effect of carnosine on myofibrillar-ATPase activity on vertebrate and in- vertebrate muscles. *Comp Biochemistry and Physiology* 1970; 37: 413-9.
16. Batrukova MA, Rubtsov AM. Histidine-containing dipeptides as endogenous regulators of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels. *Biochim Biophys Acta* 1997; 1324: 142-50
17. Rubtsov AM. Molecular mechanisms of regulation of the ac- tivity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels (ryano- dine receptors), muscle fatigue, and Severin's phenomenon. *Biochem* 2001; 66: 1132–43.
18. Dutka TL. Lamb GD. Effect of carnosine on excitation-con- traction coupling in mechanically-skinned rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motill* 2004; 25: 203-13.
19. Begum G, Cunliffe A, Leveritt M. Physiological role of car- nosine in contracting muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005; 15: 493-514.
- 20 .Dutka TL, Lambole CR, McKenna MJ, Murphy RM, Lamb GD. Effects of carnosine on contractile apparatus Ca<sup>2+</sup> sen- sitivity and sarcoplasmic reticulum Ca<sup>2+</sup> release in human skeletal fiber. *J Appl Physiol* 2012; 112: 728-36.

21. Dunnett M, Harris RC. High-performance liquid chromatographic determination of imidazole dipeptide, histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in equine and camel muscle and individual muscle fibres. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 1997; 688, 47–55.
22. Sewell DA, Harris RC, Marlin DJ, Dunnett M. Estimation of the carnosine content of different fibre types in the middle gluteal muscle of the thoroughbred horse. *J Physiol* 1992; 455: 447–53.
23. Harris RCD, Greenhaff PL. Carnosine contents in individual fibres of human vastus lateralis muscle. *J Sports Sci* 1998; 16: 639-43.
24. Morán M. Tipos de fibras musculares. En: Chicharro JL, Fernández A, editores. *Fisiología del Ejercicio*. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2008. p. 91-7.
25. Kon M, Ikeda T, Homma T, Akimoto T, Suzuki Y, Kawahara T. Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42(7): 1279-85.
26. Gonzales GF. Serum testosterone levels and excessive erythrocytosis during the process of adaptation to high altitudes. *Asian J Androl* 2013; 15: 368-74.
27. Harris, RC. Muscle carnosine elevation with supplementation and training, and the effects of elevation on exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr* 2: 39–40, 2005.
28. Suzuki, Y, Ito, O, Mukai, N, Takahashi, H, and Takamatsu, K. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jpn J Physiol* 52: 199–205, 2002.
29. Stellingwerff T, Anwander H, Egger A, Buehler T, Kreis R, Decombaz J, et al. Effect of two A-alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids* 2012; 42(6): 2461-72.
30. Harris RC, Tallon MJ, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, Fallowfield JL, Hill CA, Sale C, Wise JA. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*. 2006 May;30(3):279-89. Epub 2006 Mar 24.
31. Tabata, Izumi, Nishimura, Kouji, Motoki, Hirari, Yuusuke, Ogita, Futoshi, Miyachi, Motohiko, Yamamoto, Kaoro, Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity

intermittent training on anaerobic capacity and  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Department of Physiology and Biomechanics, National Institute of Fitness and Sports, Issue: Volume 28(10), October 1996, pp 1327-1330

32. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63(2):101-7.

33. Hak, P. T., Hodzovic, E., & Hickey, B. The nature and prevalence of injury during CrossFit training. *J Strength Cond Res* 2013 Nov 22.

34. Weisenthal BM, Beck CA, Maloney MD, De Haven KE, Giordano BD. (2014). Injury rate and patterns among CrossFit athletes. *Orthop J Sports Med*. 2014; 25: 2(4).

35. Maté-Muñoz JL, Lougedo JH, Barba M, Cañuelo-Márquez AM, Guodemar-Pérez J, García-Fernández P, Lozano-Estevan MDC, Alonso-Melero R, Sánchez-Calabuig MA, Ruíz-López M, de Jesús F, Garnacho-Castaño MV; Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit® Workouts; *J Sports Sci Med*. 2018 Nov 20;17(4):668-679. eCollection 2018 Dec.

36. Edwards, R.H.T.: Biochemical bases of fatigue in exercise performance: Catastrophe theory of muscular fatigue; in Knuttgen et al., *Biochemistry of Exercise*, pp. 3–28

37. Cárdenas D, Conde-González J, Perales JC, Cárdenas D, Conde-González J, Perales JC. La fatiga como estado motivacional subjetivo. *Rev Andaluza Med del Deport* [Internet]. Centro Andaluz de Medicina del Deporte; 2017.

38. Meeusen R, Watson P, Dvorak J. The brain and fatigue: New opportunities for nutritional interventions? *J Sports Sci*. 2006;24(7):773–82

39. Taylor JL, Todd G, Gandevia SC. Evidencia for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2006;33(4):400–5

40. Rodacki ALF, Fowler NE, Bennet SJ. Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34(1): 105±116. PMID: 11782655.

41. McCully KK, Authier B, Olive J, Clark BJ. Muscle Fatigue: The role of metabolism. *Can J Appl Physiol*. 2002; 27(1): 70±82. PMID: 11880692

42. Smilios I, Hakkinen K, Tokmakidis SP. Power Output and Electromyographic Activity during and after a Moderate Load Muscular Endurance Session. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(8): 2122±2131.
43. Bobbert MF, Van Soest AJ. Why do people jump the way they do? *Exerc Sport in Sci Rev.* 2001; 29(3): 95±102.
44. Mesa JLM, Ruiz JR, González-Gross M, Gutiérrez A, Castillo MJ. Oral creatine supplementation and skeletal muscle metabolism in physical exercise. *Sports Med* 2002; 32: 903-44.
45. Margaria R, Cerretelli P, Di Prampero PE, Massari C, Torrelli G. Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J Appl Physiol* 1963; 18: 371-7.
46. González R, García D, Herrero JA. La suplementación con creatina en el deporte y su relación con el rendimiento deportivo. *Rev Int Med Act Fis Dep* 2003; 3(12): 242-59.
47. Dorado C, Sanchis J, López-Calbet JA. Efectos de la administración de suplementos de creatina sobre el rendimiento. *Arch Med Dep* 1997; 59: 213-21
48. Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. Effect of Beta-Alanine Supplementation on 2,000-m Rowing-Ergometer Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2013; 23: 336-43.
49. Ducker KJ, Dawson B, Wallman KE. Effect of beta alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *J Strength Cond Res* 2013; 27(12): 3450-60.
50. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki. *JAMA* 310(20):2191
51. Penafiel R, Ruzafa C, Monserrat F, Cremades A. Gender related differences in carnosine, anserine and lysine content of murine skeletal muscle. *Amino Acids* 2004; 26: 53-8.
52. Crozier RA, Ajit SK, Kaftan EJ, Pausch MH. MrgD activation inhibits CNQX/M-currents and contributes to enhanced neuronal excitability. *J Neurosci*, 2007; 27: 4492-6.
53. Tiedje KE, Stevens K, Barnes S, Weaver DF. Beta-alanine as a small molecule neurotransmitter. *Neurochem Int* 2010; 57(3): 177-88.

54. Hoffman JR, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Ross R, Kang J, Stout JR, et al. Short-duration  $\beta$ -alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutr Res* 2008; 28: 31-5.
55. Harris RC, Glenys AJ, Hyo JK, Kim CK, Price KA, Wise JA. Changes in muscle carnosine of subjects with 4 weeks supplementation with a controlled release formulation of betaalanine (Carnosyni), and for 6 weeks post. *FASEB J* 2009; 23: 599.
56. Decombaz J, Beaumont M, Vuichoud J, Bouisset F, Stellin-gwerff T. The effect of slow-release Aalanine on absorption kinetics and paresthesia. *Amino Acids* 2012; 43(1): 67-76.
57. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Mangine G, Faigenbaum A, Stout J. Effect of creatine and A-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16: 430-46.
58. Watkins CM, Barillas SR, Wong MA, Archer DC, Dobbs IJ, Lockie RG, Coburn JW, Tran TT, Brown LE, Determination of Vertical Jump as a Measure of Neuromuscular Readiness and Fatigue, *J Strength Cond Res*. 2017 Dec;31(12):3305-3310.
59. Ries AL. Minimally clinically important difference for the UCSD Shortness of Breath Questionnaire, Borg Scale, and Visual Analog Scale; COPD. 2005 Mar;2(1):105-10.
60. García López D, Azael J, Alonso H, De Paz Fernández A. Validez de la escala de esfuerzo percibido de Borg para monitorizar la intensidad de esfuerzos anaeróbicos.
61. De Blas, X.; Padullés, J. M.; López del Amo, J.L.; Guerra-Balic, M. (2012). Creation and Validation of Chronojump-Boscosystem: A Free Tool to Measure Vertical Jumps. *RICYDE. Rev. int. cienc. deporte*. 30(8), 334-356.
62. Jeffrey C. Pagaduan & Xavier De Blas, reliability of countermovement jump performance on chronojump-boscosystem in male and female athletes *Sport SPA Vol. 10, Issue 2: 5-8*
63. Rebecca K. Tanner • Kate L. Fuller • Megan L. R. Ross; Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus; *Eur J Appl Physiol* (2010) 109:551–559
64. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2004;287:R502-R516.

65. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiology* 1964;14:844-52
66. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:236-43.
67. Jacinta M. Bonaventura, Ken Sharpe, Emma Knight, Kate L. Fuller, Rebecca K. Tanner, and Christopher J. Gore, Reliability and Accuracy of Six Hand-Held Blood Lactate Analysers, *J Sports Sci Med*. 2015 Mar; 14(1): 203–214.
68. Osnes JB, Hermansen L. Equilibrio ácido-base después del ejercicio máximo de corta duración. *J Appl Physiol*. 1972; 32 : 59–63.
69. Swank AM, Robertson RJ. Effect of induced alkalosis on perception of exertion during exercise recovery. *J Strength CondRes* 2002; 16: 491–9.
70. Hermansen L, Osnes JB. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol* 1972; 32: 304-8.)
71. Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, Heigenhauser GJF, Jones NL. Glucogenolisis muscular y concentración de H<sup>+</sup> durante el ciclo intermitente máximo. *J Appl Physiol*. 1989; 66 : 8–13.
72. Harris RC, Edwards RHT, Hultman E, Nordesjo LO, Nylinde B. El curso temporal de la resíntesis de fosforilcreatina durante la recuperación del músculo cuádriceps en el hombre. *Arco de Pflugers*. 1976; 367 : 137-142.
73. Trivedi B, Danforth WH. Efecto del pH en la cinética de la fosfofructoquinasa muscular de rana. *J Biol Chem*. 1966; 241 : 4110–4112.
74. Fabiato A, Fabiato F. Efectos del pH sobre los miofilamentos y el retículo sarcoplásmico de células de la piel de músculos cardíacos y esqueléticos. *J Physiol*. 1978; 276 : 233–235.
75. Precio M, Moss P. Los efectos del trabajo: la duración del descanso en las respuestas fisiológicas y de percepción durante el ejercicio y el rendimiento intermitentes. *J Sports Sci*. 2007; 25 : 1613-1621.
76. Stavrinou PS, Bogdanis GC, Giannaki CD, Terzis G, Hadjicharalambous M, High-intensity Interval Training Frequency: Cardiometabolic Effects and Quality of Life. *Int J Sports Med*. 2018 Feb;39(3):210-217.



77. Derave W, Everaert I, Beeckman S, Baguet A. Metabolismo de la carnosina muscular y la suplementación con  $\beta$ -alanina en relación con el ejercicio y el entrenamiento. *Deportes med.* 2010; 40 : 247–263
78. Dutka TL, Cordero GD. Efecto de la carnosina sobre el acoplamiento de excitación-contracción en el músculo esquelético de la rata con piel mecánica. *J Muscle Res Cell Motil.* 2004; 25 : 203–213.
79. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Mangine G, Faigenbaum A, Stout J. Effect of creatine and A-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16: 430-46.)
80. Van Thienen R, Van Proeyen K, Van Eynde B, Lefere T, Hespel P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 898-903.
81. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA, Boobis LH. Potencia y metabolismo muscular durante y después de la recuperación de 10 y 20 s de ejercicio de velocidad máxima en humanos. *Acta Physiol Scand.* 1998; 163 : 261–272.
82. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Venta C, Boobis LH, Kim CK, Wise JA. Influencia de la suplementación con  $\beta$ -alanina en las concentraciones de carnosina del músculo esquelético y la capacidad de ciclismo de alta intensidad. *Aminoácidos.* 2007; 32 : 225–233

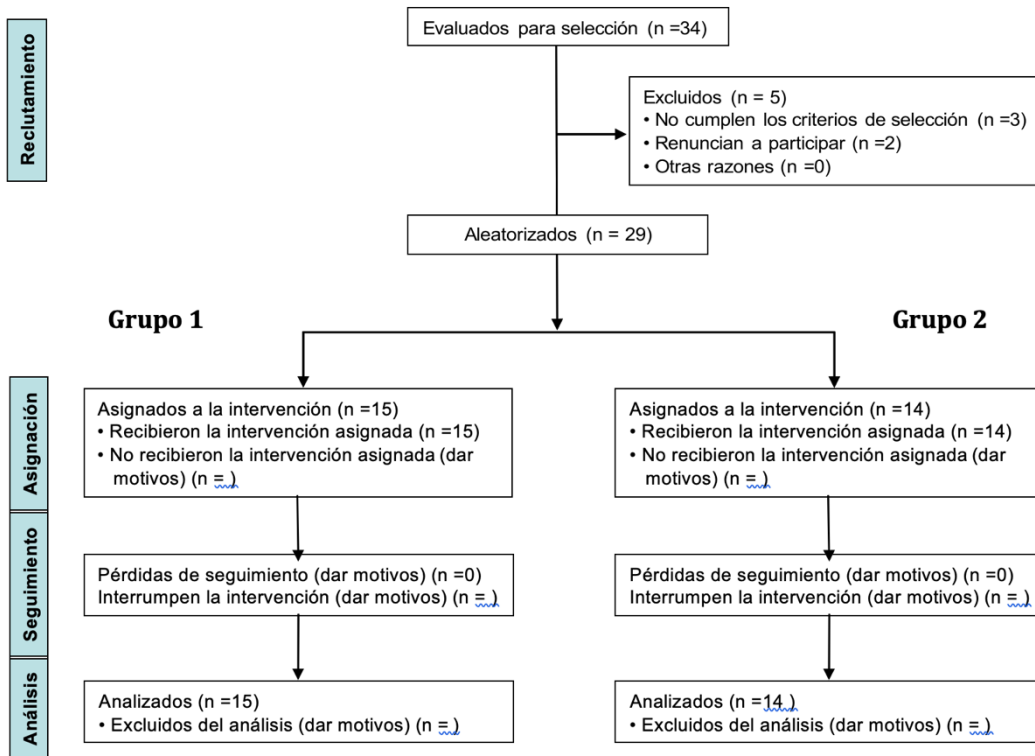
## Anexo

CONSORT 2010 lista de comprobación de la información que hay que incluir al comunicar un ensayo clínico aleatorizado

Sección/tema	Item nº	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página nº
<b>Título y resumen</b>		<b>Efectos de la betalanina en la fatiga en sujetos que realizan ejercicio interválico de alta intensidad. Ensayo clínico aleatorio simple ciego.</b>	
	1a	Identificado como un ensayo aleatorizado en el título	1
	1b	Resumen estructurado del diseño, métodos, resultados y conclusiones del ensayo (para una orientación específica, véase "CONSORT for abstracts")	3
<b>Introducción</b>			
<b>Antecedentes y objetivos</b>	2a	Antecedentes científicos y justificación	5-6
	2b	Objetivos específicos o hipótesis	7
<b>Métodos</b>			
<b>Diseño del ensayo</b>	3a	Descripción del diseño del ensayo (p. ej., paralelo, factorial), incluida la razón de asignación	8
	3b	Cambios importantes en los métodos después de iniciar el ensayo (p. ej., criterios de selección) y su justificación	11
<b>Participantes</b>	4a	Criterios de selección de los participantes	11
	4b	Procedencia (centros e instituciones) en que se registraron los datos	8
<b>Intervenciones</b>	5	Las intervenciones para cada grupo con detalles suficientes para permitir la replicación, incluidos cómo y cuándo se administraron realmente	8-11
<b>Resultados</b>	6a	Especificación a priori de las variables respuesta (o desenlace) principal(es) y secundarias, incluidos cómo y cuándo se evaluaron	12
	6b	Cualquier cambio en las variables respuesta tras el inicio del ensayo, junto con los motivos de la(s) modificación(es)	12
<b>Tamaño muestral</b>	7a	Cómo se determinó el tamaño muestral	11
	7b	Si corresponde, explicar cualquier análisis intermedio y las reglas de interrupción	-
<b>Aleatorización:</b>			
<b>Generación de la secuencia</b>	8a	Método utilizado para generar la secuencia de asignación aleatoria	8
	8b	Tipo de aleatorización; detalles de cualquier restricción (como bloques y tamaño de los bloques)	8
<b>Mecanismo de ocultación de la asignación</b>	9	Mecanismo utilizado para implementar la secuencia de asignación aleatoria (como contenedores numerados de modo secuencial), describiendo los pasos realizados para ocultar la secuencia hasta que se asignaron las intervenciones	8

<b>Implementación</b>	10	Quién generó la secuencia de asignación aleatoria, quién seleccionó a los participantes y quién asignó los participantes a las intervenciones	14
<b>Enmascaramiento</b>	11a	Si se realizó, a quién se mantuvo cegado después de asignar las intervenciones (p. ej., participantes, cuidadores, evaluadores del resultado) y de qué modo	8
	11b	Si es relevante, descripción de la similitud de las intervenciones	8
<b>Métodos estadísticos</b>	12a	Métodos estadísticos utilizados para comparar los grupos en cuanto a la variable respuesta principal y las secundarias	14
	12b	Métodos de análisis adicionales, como análisis de subgrupos y análisis ajustados	14
<b>Resultados</b>			
<b>Flujo de participantes (se recomienda encarecidamente un diagrama de flujo)</b>	13a	Para cada grupo, el número de participantes que se asignaron aleatoriamente, que recibieron el tratamiento propuesto y que se incluyeron en el análisis principal	11
	13b	Para cada grupo, pérdidas y exclusiones después de la aleatorización, junto con los motivos	11
<b>Reclutamiento</b>	14a	Fechas que definen los períodos de reclutamiento y de seguimiento	8
	14b	Causa de la finalización o de la interrupción del ensayo	11
<b>Datos basales</b>	15	Una tabla que muestre las características basales demográficas y clínicas para cada grupo	20
<b>Números analizados</b>	16	Para cada grupo, número de participantes (denominador) incluidos en cada análisis y si el análisis se basó en los grupos inicialmente asignados	12
<b>Resultados y estimación</b>	17a	Para cada respuesta o resultado final principal y secundario, los resultados para cada grupo, el tamaño del efecto estimado y su precisión (como intervalo de confianza del 95%)	15
	17b	Para las respuestas dicotómicas, se recomienda la presentación de los tamaños del efecto tanto absoluto como relativo	15
<b>Análisis secundarios</b>	18	Resultados de cualquier otro análisis realizado, incluido el análisis de subgrupos y los análisis ajustados, diferenciando entre los especificados a priori y los exploratorios	15
<b>Daños (Perjuicios)</b>	19	Todos los daños (perjuicios) o efectos no intencionados en cada grupo (para una orientación específica, véase "CONSORT for harms")	
<b>Discusión</b>			
<b>Limitaciones</b>	20	Limitaciones del estudio, abordando las fuentes de posibles sesgos, las de imprecisión y, si procede, la multiplicidad de análisis	17
<b>Generalización</b>	21	Posibilidad de generalización (validez externa, aplicabilidad) de los hallazgos del ensayo	17
<b>Interpretación</b>	22	Interpretación consistente con los resultados, con balance de beneficios y daños, y considerando otras evidencias relevantes	17

## Diagrama de flujo de la muestra



	Placebo			Betalanina			Levene	T-Student
	Media	DS	SW	Media	DS	SW		
<b>Salto 1 pre-intervención</b>	29,366	5,675	0,610	30,732	6,509	0,210	0,882	0,551
<b>Potencia 1 pre-intervención</b>	937,192	91,459	0,586	963,752	117,162	0,459	0,701	0,500
<b>Ácido láctico pre-intervención</b>	15,620	5,343	0,395	17,579	4,053	0,769	0,342	0,279
<b>Escala esfuerzo percibido pre</b>	16,800	1,568	0,043	17,357	1,499	0,056		0,217*
<b>Salto 2 pre-intervención</b>	28,776	5,624	0,124	30,334	6,373	0,201	0,983	0,490
<b>Potencia 2 pre-intervención</b>	926,953	88,818	0,164	955,907	110,871	0,151	0,755	0,443
<b>Peso</b>	72,400	11,903	0,104	74,214	10,606	0,151	0,256	0,669

Tabla 1. Datos basales de los sujetos

		Pre intervención 1		Pre intervención 2		Pos intervención 1		Postintervención 2		factor1 * GRUPO
		Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	P valor(a)
Salto	Placebo	29,366	5,675	28,776	5,624	28,668	5,138	28,599	5,510	0,084
	Betalanina	30,733	6,509	30,334	6,373	31,085	6,235	31,868	5,464	
Potencia	Placebo	937,192	91,459	926,953	88,818	927,265	83,189	925,205	88,086	0,097
	Betalanina	963,752	117,162	955,907	110,871	963,511	102,489	985,636	92,395	

Tabla 2. Datos estadísticos descriptivos de ambos grupos.

						Análisis intragrupo			Análisis Intergrupar
		Pre intervención		Postintervención		DIF Pre-post			
		Media	DS	Media	DS	Media	DS	P valor	T Student
EEP	Placebo	16,8	1,568	17,4	1,352	-0,6	4,378 5	0,223	0,262
	Betalanina	17,357	1,499	17,357	1,393	0,000	1,414	1,000	
Acido láctico	Placebo	15,62	5,343	17,06	3,749	-1,44	1,404	,120	0,199
	Betalanina	17,579	4,053	16,529	5,087	1,0500	5,766 6	,508	

Tabla 3. ANOVA de medidas repetidas

## Pruebas de efectos dentro de sujetos

Medida: Salto

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada
<b>factor1</b>	Esfericidad asumida	7,238	3	2,413	1,002	0,396	0,036	3,007	0,263
	Greenhouse-Geisser	7,238	2,381	3,039	1,002	0,384	0,036	2,387	0,234
	Huynh-Feldt	7,238	2,724	2,657	1,002	0,391	0,036	2,730	0,251
	Límite inferior	7,238	1,000	7,238	1,002	0,326	0,036	1,002	0,162
<b>factor1 * GRUPO</b>	Esfericidad asumida	16,558	3	5,519	2,293	0,084	0,078	6,879	0,559
	Greenhouse-Geisser	16,558	2,381	6,953	2,293	0,100	0,078	5,460	0,492
	Huynh-Feldt	16,558	2,724	6,078	2,293	0,091	0,078	6,246	0,530
	Límite inferior	16,558	1,000	16,558	2,293	0,142	0,078	2,293	0,309
<b>Error(factor 1)</b>	Esfericidad asumida	194,984	81	2,407					
	Greenhouse-Geisser	194,984	64,300	3,032					
	Huynh-Feldt	194,984	73,551	2,651					
	Límite inferior	194,984	27,000	7,222					

Tabla 4. ANOVA del Salto, prueba de los efectos dentro de los sujetos

## Comparaciones por parejas

Medida: Salto

Grupo			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. <sup>b</sup>	95% de intervalo de confianza para diferencia <sup>b</sup>	
						Límite inferior	Límite superior
Placebo	1	2	0,590	0,525	1,000	-0,903	2,084
		3	0,698	0,702	1,000	-1,300	2,695
		4	0,767	0,671	1,000	-1,145	2,678
	2	1	-0,590	0,525	1,000	-2,084	,903
		3	0,107	0,448	1,000	-1,169	1,384
		4	0,176	0,478	1,000	-1,184	1,537
	3	1	-0,698	0,702	1,000	-2,695	1,300
		2	-0,107	0,448	1,000	-1,384	1,169
		4	0,069	0,527	1,000	-1,432	1,570
	4	1	-0,767	0,671	1,000	-2,678	1,145
		2	-0,176	0,478	1,000	-1,537	1,184
		3	-0,069	0,527	1,000	-1,570	1,432
betalanina	1	2	0,398	0,543	1,000	-1,148	1,944
		3	-0,352	0,726	1,000	-2,420	1,715
		4	-1,136	0,695	0,683	-3,114	0,843
	2	1	-0,398	0,543	1,000	-1,944	1,148
		3	-0,750	0,464	0,705	-2,071	0,571
		4	-1,534 <sup>*</sup>	0,495	0,027	-2,943	-0,125
	3	1	0,352	0,726	1,000	-1,715	2,420
		2	0,750	0,464	0,705	-0,571	2,071
		4	-0,783	0,546	0,975	-2,337	0,770
	4	1	1,136	0,695	0,683	-0,843	3,114
		2	1,534 <sup>*</sup>	0,495	0,027	0,125	2,943
		3	0,783	0,546	0,975	-0,770	2,337

Tabla 5. Comparaciones intergrupo por parejas



## Pruebas de efectos dentro de sujetos

Medida: **Potencia**

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro de no centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
<b>factor1</b>	Esfericidad asumida	3216,148	3	1072,049	1,343	0,266	0,047	4,030	0,345
	Greenhouse-Geisser	3216,148	2,121	1516,659	1,343	0,270	0,047	2,849	0,286
	Huynh-Feldt	3216,148	2,391	1344,900	1,343	0,269	0,047	3,213	0,305
	Límite inferior	3216,148	1,000	3216,148	1,343	0,257	0,047	1,343	0,201
<b>factor1 GRUPO</b> *	Esfericidad asumida	5206,036	3	1735,345	2,175	0,097	0,075	6,524	0,534
	Greenhouse-Geisser	5206,036	2,121	2455,044	2,175	,120	0,075	4,612	0,440
	Huynh-Feldt	5206,036	2,391	2177,014	2,175	0,113	0,075	5,201	0,471
	Límite inferior	5206,036	1,000	5206,036	2,175	0,152	0,075	2,175	0,296
<b>Error(factor1)</b>	Esfericidad asumida	64634,844	81	797,961					
	Greenhouse-Geisser	64634,844	57,255	1128,899					
	Huynh-Feldt	64634,844	64,567	1001,053					
	Límite inferior	64634,844	27,000	2393,883					

Tabla 6. ANOVA de la potencia

