



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL
DEPORTE

Curso Académico 2017 / 2018

Consumo de β -alanina en el deporte

Consumption of β -alanine in sports

Autor/a: Javier Pisador Pérez

Tutor/a: Pilar Sánchez Collado

Fecha: Julio 2018

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

Índice

1. Introducción.....	3
2. Suplementos deportivos	6
3. Objetivos	7
4. Metodología.....	7
5. Resultados	8
5.1. ¿Qué es la β -alanina?	8
5.2. ¿Qué efectos produce?	11
5.2.1. Estudios que apoyan su eficacia.....	13
5.2.2. Estudios que no apoyan su eficacia.....	15
5.3. Dosis	16
5.4. Ingesta coordinada	17
5.4.1. Bicarbonato de Sodio.....	17
5.4.2. Creatina	18
5.5. Problemas asociados a su consumo	19
5.6. Posibles vías de investigación	19
6. Conclusión.....	21
7. Referencias bibliográficas.....	22

Resumen:

Esta revisión bibliográfica realiza un análisis de las investigaciones publicadas en "Pubmed", sobre la β -alanina. El presente estudio comienza explicando qué es y cuál es su relación con la carnosina, causa que ha provocado que en los últimos años aumente su popularidad. La carnosina tiene diferentes efectos fisiológicos, pero destacan aquellos relacionados con la mejora del rendimiento, su limitación en la variación del pH cuando el músculo en ejercicio genera demasiado ácido láctico y la mejora en la sensibilidad muscular. En este estudio se muestran todos los efectos que provoca, relacionados o no con el rendimiento deportivo. Debido a los efectos que produce, se muestran los deportes que pueden beneficiarse de su suplementación, exponiendo un conjunto de estudios que apoyan su eficacia y establecen la dosis de consumo. También se tiene en cuenta su ingesta de forma coordinada con otros suplementos (bicarbonato de sodio y la creatina). Finalmente se atiende a los riesgos asociados a su consumo y se proponen unas posibles líneas de investigación, pues a pesar de contar con una eficacia demostrada científicamente, es necesario un mayor número de investigaciones.

Palabras clave:

β -alanina y (Suplementación or deportes or efectos or Bicarbonato Sódico or creatina or problemas).

Abstract:

This literature review analyzes the research published in "Pubmed" on β -alanine. The present study begins explaining what is and what is its connection with carnosine, reason that has caused, in the last years, to increase its popularity. Carnosine has different physiological effects, but it is also related to improving performance, limiting the pH when the muscle in exercise is too acidic and improving muscle sensitivity. This study shows all the effects that cause, related or not with sports performance. Due to the effects produces, the sports that can benefit from its supplementation are shown, exposing a set of studies that support its effectiveness and establish the dose of adequate consumption. Its intake is also taken into account in a coordinated way with other supplements (sodium bicarbonate and creatine). Finally, the risks associated to the intake are considered, and research lines are proposed, for despite it counts on proved efficacy, its necessary a greater number of investigations.

Keywords:

β -alanine and (supplementation or or sports or effects or sodium bicarbonate or creatine or problems).

1. Introducción

El rendimiento deportivo está condicionado por diferentes dimensiones, es decir es un fenómeno multifactorial. Muchos de estos factores están determinados en gran medida por la dotación genética (los rasgos antropométricos, los cardiovasculares, el nivel de salud, las capacidades de entrenamiento, de mejora, de recuperación...) pero pueden modificarse dentro de unos límites. Sin embargo no todos los factores se encuentran condicionados genéticamente, existen otros como son la nutrición y el estilo de vida caracterizados por el gran control que existe sobre ellos.

En el alto rendimiento se persigue obtener los mejores resultados y para ello es necesario tener el control sobre todos los factores que afectan al rendimiento deportivo buscando su optimización porque cualquier cambio puede suponer una mejora y con ella un gran cambio en los resultados deportivos. Esto provoca que los deportistas adapten sus conductas y actividades realizadas a lo largo de todo el día, a las necesidades específicas establecidas para mejorar su rendimiento.

Este control exhaustivo sobre todas las dimensiones que afectan al rendimiento ha provocado su optimización, generando la búsqueda de diferentes formas que puedan aportar un aumento. Aparecen así las ayudas ergogénicas, sustancias que permiten mejorar el rendimiento en un pequeño pero muy importante tanto por ciento si son ingeridas de forma controlada y en el momento correcto.

En el ámbito deportivo encontramos diferentes suplementos ergogénicos que se encuentran clasificados mediante el sistema de clasificación A, B, C, D. En este sistema se recogen, los alimentos para deportistas y los ingredientes de los suplementos en cuatro grandes grupos, establecidos en función de la evidencia científica y de otras consideraciones prácticas que determinan si un producto es seguro, legal y eficaz para la mejora del rendimiento deportivo. Las decisiones sobre la colocación de un producto en uno u otro grupo, son tomadas por un grupo de expertos convocados por el AIS Sports Supplement Framework, regularmente reevaluadas.

En la "A" se encuentran el bicarbonato sódico, la creatina, la cafeína... caracterizados por contribuir directamente a la mejora del rendimiento, usarse en protocolos individualizados bajo la dirección de un profesional de medicina deportiva y por la existencia de evidencia científica, aunque pueden requerir investigaciones adicionales para ajustar los protocolos para el uso individualizado y específico del evento. En el segundo grupo, denominado con la letra "B", se encuentran la carnitina, la glutamina, la glucosamina... caracterizados porque merece la pena

seguir investigando y puede considerarse su suministro a los atletas sometidos a un protocolo de investigación.

En el grupo “C”, se encuentran las sustancias que tienen un bajo nivel de evidencia y no se proporcionan a los atletas en programas de suplementación, solo podría realizar su consumo un atleta cuando exista una aprobación específica para ello. En el último grupo, el “D”, se encuentran las sustancias que están prohibidas, pueden conducir a una prueba de dopaje positivo y por lo tanto su uso dentro de programas de suplementación se encuentra prohibido (Australian Institute of Sport, 2018).

En este trabajo se estudiará la β -alanina, que en los últimos diez años se ha convertido en uno de los ingredientes más populares de nutrición deportiva. Aunque es relativamente nuevo, con el primer estudio en humanos publicado en 2006, el uso y formulación de β -alanina se ha expandido a casi todas las fórmulas pre-entrenamiento en el mercado (Trexler, et al. 2015).

Con la popularidad llegó la necesidad de conocer cuáles eran realmente sus efectos reales y cómo se comportaba este suplemento en los sujetos consumidores. Tras los resultados obtenidos, la β -alanina fue catalogada por el Instituto Australiano del Deporte e introducida en el grupo B de su clasificación que atiende a dos parámetros fundamentales: eficacia y seguridad de los suplementos (Domínguez, Lougedo, Maté-Muñoz, & Garnacho-Cataño, 2015), exponiendo la necesidad de un mayor número de investigaciones sobre este suplemento. Sin embargo, el Instituto Australiano del Deporte ha considerado incluir la β -alanina en el grupo A, debido a los resultados obtenidos en estudios posteriores, situando a este suplemento en el grupo más alto de la clasificación. Lo que ha generado que se encuentre dentro de los suplementos más comunes, zona representada en verde en la siguiente figura (Close, Hamilton, Philp, Burke, Morton, 2016).

<p>β-alanina</p> <p>Cafeína</p> <p>Hidratos de Carbono</p> <p>Geles/Bebidas</p> <p>Jugo de remolacha</p> <p>Bicarbonato de sodio</p> <p>Antioxidantes</p>	<p>Taurina</p> <p>L-Carnitina</p>	<p>Efedrina</p> <p>Metilhaxanemina</p> <p>Malato de Citrulina</p> <p>L-Arginina</p> <p>sinefrina</p>
<p>Creatina</p> <p>Proteína</p>	<p>Leucina</p> <p>Aminoácidos ramificados</p>	<p>ZMA</p> <p>Anabolizantes</p> <p>Testosterona</p> <p>Calostro</p>
<p>Probióticos</p> <p>Electrolitos</p> <p>Vitamina D</p>	<p>Vitamina C</p> <p>Multivitaminas</p> <p>Glucosamina</p> <p>Quercetina</p> <p>Glutamina</p> <p>Aceite de pescado</p> <p>Colágeno</p>	<p>Magnesio</p> <p>Suplementos de herbario</p>

Imagen1: Clasificación de suplementos según evidencia. Modificado de (Close, et al. 2016).

El interés de investigación radica, en que se propone como principal limitante en la producción de carnosina intramuscular (Ducker, Dawson, & Wallman, 2013). Son varios los autores que defienden que un aumento de β-alanina producirá un aumento de carnosina muscular (Hill, et al. 2007; Baguet, et al. 2009; Derave, et al 2007). Este aumento se puede producir por un aumento en la ingesta, pero existen diferencias entre las concentraciones corporales de carnosina entre diferentes personas porque su localización principal es el músculo esquelético.

Un aumento en los niveles de carnosina se asocia a posibles efectos fisiológicos positivos, donde destaca el retraso en la aparición de la fatiga gracias a la ayuda del mantenimiento del pH muscular, produciendo así una mejora en el rendimiento (Tipton, Jeukendrup, & Hespel, 2007). Por esto es utilizado como suplemento ergogénico, aunque en la literatura encontramos diferentes estudios que se oponen a su eficacia (Mero, Hirvonen, Saarela, Hulmi, Hoffman, & Stout, 2013).

2. Suplementos deportivos

El consumo de suplementos nutricionales se encuentra normalizado entre los deportistas, y así existen múltiples estudios, que evalúan el uso de este tipo de suplementos en atletas tanto masculinos como femeninos. Algunos de estos estudios se han realizado sobre grandes muestras, alrededor de 800, y obtienen que un 97.2% los ha utilizado en algún momento de su carrera deportiva, siendo el 84.7% de ellos consumidores en las últimas 4 semanas (Wardenaar, et al. 2017).

Pero no se debe pensar que el consumo de suplementos en el mundo del deporte es algo novedoso, Shaw, Slater, & Burke (2016) recogen diferentes estudios, que muestran encuestas donde se atiende a la prevalencia de los deportistas ante el consumo de suplementos, datos que son recopilados por atletas que participan en los Juegos Olímpicos de Sydney y Atenas. Hablan de un consumo generalizado, y así en algunos casos el 99% de los deportistas de algunos equipos consume suplementos dietéticos, como es el caso del equipo nacional de natación Australiano.

En la actualidad podemos destacar dos grandes grupos de atletas según su consumo de suplementos, por un lado aquellos que no disponen de asesoramiento dietético, donde los suplementos más consumidos son las preparaciones multivitamínicas y minerales (42.9%), bebidas isotónicas para deportistas (44.1%) y la cafeína (13.0%). Y por otro lado, los atletas que sí disponen de un asesoramiento dietético, destacando el consumo de vitamina D, bebidas de recuperación, barras energéticas, bebidas isotónicas con proteínas, dextrosa, β -alanina y bicarbonato de sodio.

Se observa que el consumo de β -alanina se produce en deportistas que disponen de asesoramiento dietético, siendo su consumo poco utilizado por aquellos atletas que no dispone de él. Además la aparición del dietista se asocia inversamente con el uso de diferentes vitaminas, calcio, vitamina E, vitamina B2, retinol, bebidas energéticas, BCAA y otros aminoácidos (Wardenaar, et al. 2017).

3. Objetivos

Este análisis bibliográfico se ha realizado con el objetivo de, recopilar información y aprender sobre un tema muy actual en el mundo deportivo y en constante crecimiento e investigación, como es la suplementación nutricional/ergogénica, utilizada por los deportistas de élite para aumentar y mantener su alto nivel de rendimiento. Concretamente, se ha querido profundizar en el conocimiento de uno de los suplementos, que más notoriedad tiene en los últimos años.

Los objetivos específicos son:

- Conocer qué es la β -alanina
- Conocer los efectos que produce
- Conocer estudios que apoyan su eficacia.
- Conocer qué deportes o esfuerzos pueden beneficiarse de su consumo
- Conocer cuál debe ser la dosis de consumo
- Conocer su comportamiento fisiológico ante la co-ingestión con otros suplementos

4. Metodología

Este trabajo es una revisión bibliográfica y para su realización ha sido necesario, una primera fase de búsqueda sistematizada en la base de datos "Pubmed", sobre la β -alanina. Se han utilizado las siguientes palabras: supplements, ergogenic, sports, performance, β -alanine. A continuación, se ha llevado a cabo una comprensión y reflexión sobre toda la información obtenida, para finalmente exponerla de forma clara y ordenada, dando respuesta a los objetivos previamente planteados.

Los criterios de clasificación de los diferentes artículos han sido:

- Artículos con resultados significativos que apoyan la eficacia de la β -alanina.
- Artículos con resultados poco significativos que no apoyan la eficacia de la β -alanina.
- Artículos en los que se consume únicamente β -alanina.
- Artículos en los que se consume β -alanina en combinación con bicarbonato de sodio.
- Artículos en los que se consume β -alanina en combinación con creatina.
- Modalidad de los deportistas sometidos a estudio.

5. Resultados

5.1. ¿Qué es la β -Alanina?

La β -alanina es un aminoácido no proteico y no esencial sintetizado en el hígado, (Artioli, Gualano, Smith, Stout, & Lancha, 2010), como resultado de la degradación de pirimidinas timina, citosina y uracilo (Zanella, Alves, & de Souza, 2017). Además puede ser consumido en la dieta porque se encuentra en diversos alimentos: carnes rojas y carnes blancas como son las aves de corral y el pescado (Zanella, et al. 2017) y también puede ingerirse mediante el consumo de suplementos.

Este aminoácido se ha identificado como el precursor que limita la velocidad de la síntesis de carnosina (Trexler, et al. 2015), aunque existen diferentes factores que influyen en el contenido de carnosina muscular como el género, el nivel de entrenamiento, el entorno hormonal y sobre todo el tipo de fibras musculares (Domínguez, et al. 2015). Estos factores provocan un aumento en las concentraciones de carnosina muscular en el sexo masculino, en atletas que compiten en modalidades deportivas donde predomina la alta intensidad y en las fibras de contracción rápida, donde se encuentran unos niveles de carnosina entre 1 y 2 veces mayor que en las de contracción lenta (Tallon, Harris, Boobis, Fallowfield, & Wise, 2005).

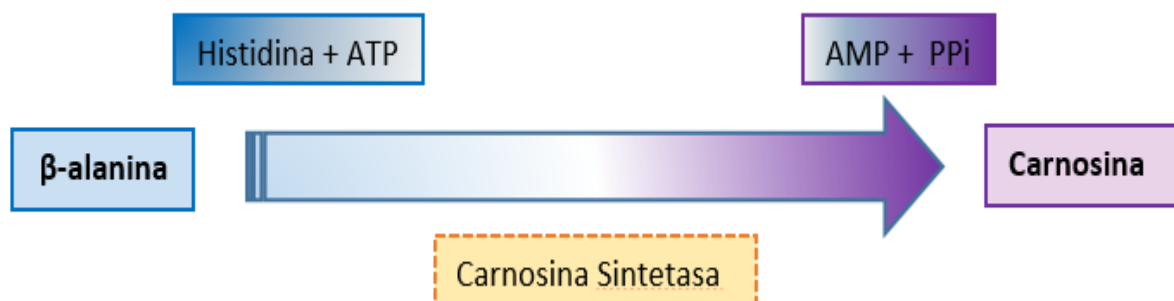


Imagen 2: Obtención de carnosina. Modificado de (Black, Jones, Morgan, Bailey, Fulford, & Vanhatalo, 2018).

La carnosina es un dipéptido citoplasmático (Brisola, Artioli, Papoti, & Zagatto, 2016), sintetizado en el músculo esquelético mediante aminoácidos (L-histidina y β -alanina) en una reacción catalizada por la enzima carnosina sintetasa (Artioli, et al. 2010). Se encuentra en el músculo esquelético, principalmente en las fibras tipo IIa y tipo IIx (Tipton, et al. 2007), y en menor cantidad también se encuentra en el sistema nervioso central, fundamentalmente en el lóbulo olfativo (Domínguez, et al. 2015), debido a que el cerebro humano expresa una enzima capaz de sintetizar carnosina (Solis et al 2015). También se encuentra en algunas carnes, pudiéndose obtener a través de la dieta, sometándose a la posterior hidrólisis por la enzima carnosinasa, presente en el tracto gastrointestinal (Artioli, et al. 2010).

Hay que destacar que el músculo esquelético puede sintetizar carnosina pero sus células no pueden absorberla del torrente sanguíneo (Artioli, et al. 2010), por lo tanto la suplementación de forma oral de carnosina es ineficaz porque aunque se encuentre en el torrente sanguíneo no puede acceder al músculo esquelético. Por otro lado, el músculo esquelético no puede producir ninguno de los aminoácidos que forman la carnosina, debe ser absorbida del torrente sanguíneo, siendo la concentración plasmática de β -alanina menor que la de L- histidina. Por ello se establece que la disponibilidad de β -alanina a nivel muscular, es el principal limitante de la velocidad de síntesis endógena de carnosina (Artioli, et al. 2010).

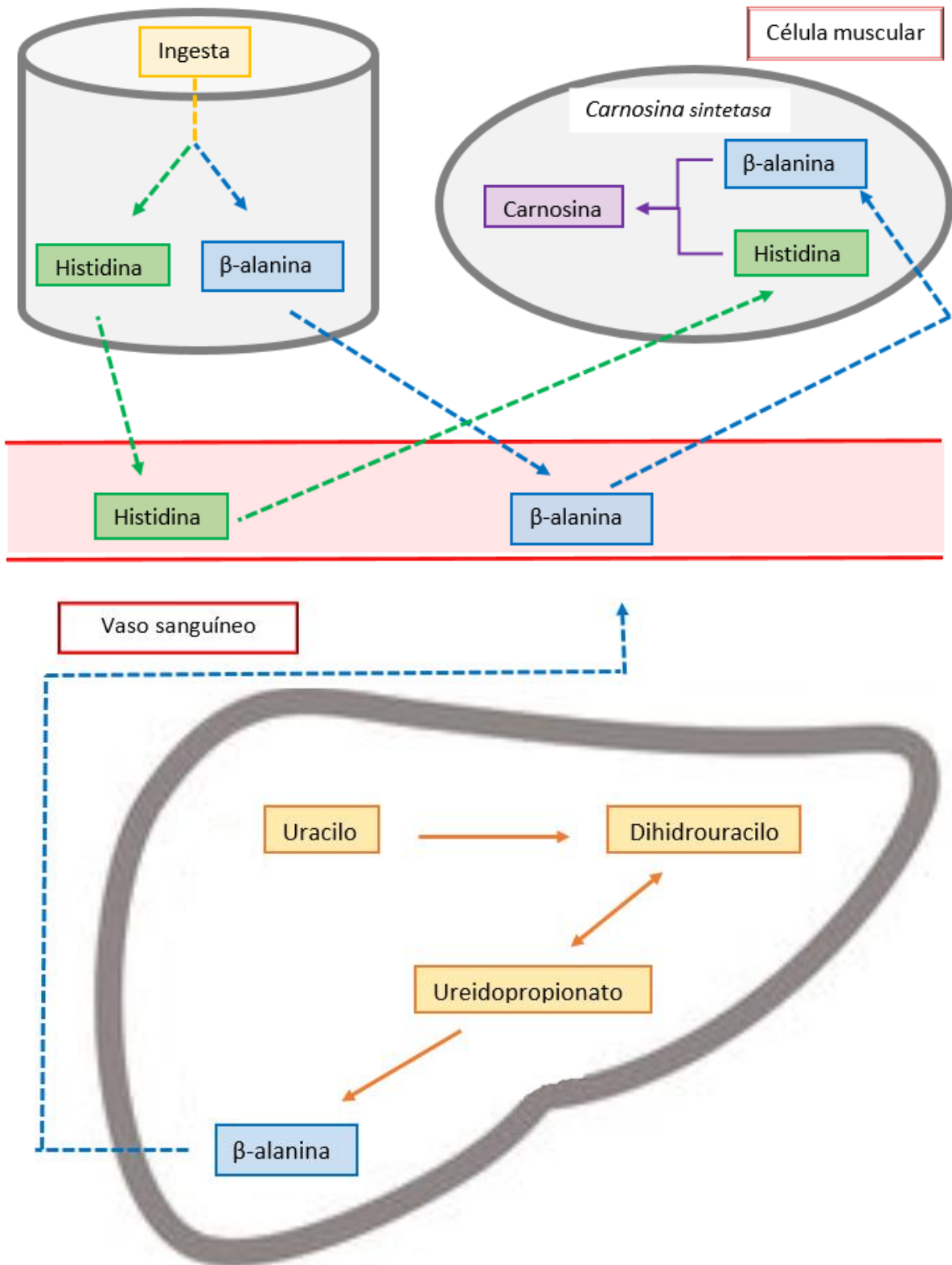


Imagen 3: Diferentes vías de obtención de β-alanina y obtención de la carnosina muscular. Modificado de (Artoli, et al. 2010).

5.2. ¿Qué efectos produce?

El principal efecto de la β -alanina es incrementar el contenido de carnosina ya que los efectos y funciones que desempeña la carnosina en el organismo son fundamentales y muy variadas. De esta forma se ha descrito un posible efecto neuroprotector ya que la carnosina actúa como neurotransmisor, que unido a que se encuentra en el sistema nervioso central, se propone como ayuda en el tratamiento y cómo prevención de trastornos neurodegenerativos inducidos por el estrés oxidativo (Dobrota, et al. 2005). La suplementación con este dipéptido ha demostrado que mejora la función cognitiva en pacientes esquizofrénicos, relacionándose su déficit con Alzheimer o autismo (Bhattacharya, et al. 2015). También se vincula con la regulación de muchos receptores específicos y enzimas, permitiendo así tratar problemas desencadenados por isquemias cerebrales y de corazón (Abe, 2000).

Uno de los efectos más importantes de la carnosina es su actividad antiglicosilación o antiglicación (Danaher, Gerber, Wellard, & Stathis, 2014). La glucosilación no enzimática o glicación, de proteínas se debe a la reacción entre un azúcar reductor (glucosa, fructosa, galactosa, manosa y ribosa), con los aminos libres que se unen para formar los productos finales de glucosilación avanzada. En este proceso no hay participación enzimática, pero las proteínas son modificadas de forma irreversible, acumulándose y modificando la arquitectura y propiedades funcionales de los tejidos. Este proceso tiene un papel muy importante, en las complicaciones que se asocian a la diabetes y al envejecimiento, como nefropatía, retinopatía, Alzheimer, disfunción eréctil y testicular, aterosclerosis, neuropatía, disminución de la elasticidad cutánea y fibrosis pulmonar. Los productos de glicosilación avanzada son generados de forma constante y en equilibrio, y la carnosina ayuda a su eliminación facilitando su reconocimiento ante los macrófagos (Houjehani, Kheirouri, Faraji, & Jafarabadi, 2018). Lo que puede explicar porque las personas con diabetes tipo II, presentan estados deficitarios de carnosina (Boldyrev, 2012).

Sin embargo, destacan aquellas propiedades fisiológicas que afectan a la función muscular y al mantenimiento de la homeostasis, porque es lo que ha generado que este dipéptido se utilice en el ámbito deportivo con el fin de mejorar el rendimiento (Blancquaert, et al, 2016). Se pueden destacar las siguientes acciones:

- Amortiguación del pH producida por su contribución al almacenamiento intracelular de H^+ , atenuando así la disminución del pH intracelular asociado con el metabolismo anaeróbico (Tipton, et al. 2007), es decir, limita la variación del pH cuando el músculo durante el ejercicio anaeróbico genera demasiado ácido láctico adquiriendo así una función fisiológica clave como tampón a nivel muscular (Nassis, Sporer, & Stathis, 2016).

- Acción antioxidante pues evita la acumulación de productos oxidados derivados de los componentes lipídicos mediante la captación de radicales libres (Trexler, et al. 2015). La realización de actividad física aumenta el estrés oxidativo, producido por la actividad de la cadena transportadora de electrones y la liberación de oxígeno de la hemoglobina (Mastaloudis, Leonard, & Traber, 2001).
- Mejora la sensibilidad del calcio a nivel de la fibra muscular, produciendo mejoras en el proceso de contracción (Rubtsov, 2001), optimizándose los esfuerzos de contracción e inhibición muscular, disminuyendo así la fatiga neuromuscular (Trexler, et al. 2015).
- Se le atribuye una estrecha relación con la activación de la miosina ATPasa, siendo muy importante esta enzima para el mantenimiento de las reservas de ATP (Domínguez, et al. 2015).

El rendimiento físico en deportistas, busca potenciar estos efectos mediante el consumo de dosis controladas de β -alanina, produciendo beneficios como exponen Domínguez et al (2015) ante diferentes tipos de deportes:

- Aquellas modalidades deportivas de muy corta duración, podrían verse favorecidas por la mejora en la capacidad de realizar un mayor volumen de entrenamiento a mayor intensidad.
- Los deportes donde la capacidad de resistencia aeróbica ocupa un papel importante, podrían ver incrementado su rendimiento debido a que un aumento sobre el umbral anaeróbico, podría mejorar su capacidad anaeróbica láctica.

También Trexler et al (2015) defienden que puede mejorar el rendimiento táctico, pues permite una menor fatiga neuromuscular, lo que origina una mayor frescura mental y puede ayudar al atleta en la toma de decisiones correctas, este efecto amplía el número de deportes que puede beneficiarse del consumo de este suplemento.

Aunque actualmente no se contempla como una hipótesis válida, se propone que la β -alanina exógena puede encaminarse eficazmente hacia la oxidación. Cuando el suministro exógeno de β -alanina excede la necesidad y/o la capacidad de sintetizar dipéptidos que contienen histidina, la β -alanina probablemente se degrada y se usa como fuente de energía. La degradación de β -alanina se produce por dos enzimas, 4-aminobutirato-2-oxoglutarato transaminasa (GABA-T) y alanina-glioxilato transaminasa (AGXT2), enzimas que pueden transaminar β -alanina de manera eficiente (Blancquaert, et al. 2016).

Esta hipótesis también es defendida por Stegen et al (2013), quienes encontraron que la β -alanina ingerida diariamente por vía oral como un suplemento ergogénico, tiene retención en todo el cuerpo (solo <2% se excreta en la orina), mientras que solo una pequeña fracción de la β -alanina exógena se absorbe por los músculos humanos para convertirse en carnosina (3-6%).

La demostración de esta hipótesis supondría una popularidad aún mayor de este suplemento en el rendimiento deportivo al poder utilizarse como fuente de energía. Sin embargo la popularidad actual de la β -alanina ha surgido por el beneficio que aporta ante las actividades limitadas por la acidosis, de gran intensidad que tienen una duración de entre 2 y 4 min (Blancquaert, et al. 2016), como se ha comentado previamente.

5.2.1. Estudios que apoyan su eficacia

La literatura actual es contradictoria en cuanto a los resultados obtenidos en el estudio de la β -alanina. Sin embargo, existen un gran número de investigaciones con resultados en una misma dirección, que relacionan la ingesta de este suplemento de forma controlada, con un aumento en el rendimiento. Pueden clasificarse según la modalidad deportiva a la que corresponden los sujetos estudiados.

En el ciclismo se ha descrito un aumento significativo en la capacidad del deportista para realizar este deporte a alta intensidad. Ante la ingesta de 6.4 gr/día de β -alanina durante 4 semanas, se obtienen mejoras para la realización de una prueba de máxima potencia (110%) (Sale, Saunders, Hudson, Wise, Harris, & Sunderland, 2011). Mejoras que vuelven a producirse en sujetos que se someten a este mismo protocolo de consumo de β -alanina, pero durante un periodo de tiempo mayor, de 24 semanas (Saunders, et al. 2017b). También en pruebas de corta duración realizadas de forma repetida, contrarreloj de hasta 10 km o supramáximas hasta el agotamiento. Tras un periodo de 5 semanas de trabajo con sujetos entrenados, obtuvieron mayores mejoras en la capacidad anaeróbica en el grupo que fue suplementado con β -alanina, es decir, la ingesta de este suplemento aumentó la intensidad de entrenamiento ante esprints realizados a máxima velocidad (Bellinger, & Minahan, 2016).

En el fútbol femenino, se compara el rendimiento de jugadoras pertenecientes a un mismo equipo tras un periodo de seis semanas en el que son divididas en diferentes grupos según tipo de entrenamiento y suplementación. Así, un grupo realiza un entrenamiento basado en ejercicios específicos de fútbol, el otro incluye en su programa ejercicios pliométricos y además de estas dos variables, se forman otros grupos teniendo en cuenta si consumen o no de β -alanina. Las conclusiones establecen que el uso de ejercicios pliométricos genera

mayores mejoras en la capacidad de resistencia, salto y en la repetición de esprints, siendo estas respuestas adaptativas mayores en el grupo que realizó una suplementación con β -alanina (Rosas, et al. 2017). Incluso ante una ingesta de 2,4 gr/día de β -alanina, cantidad inferior en comparación a estudios anteriores, se obtienen unos resultados que establecen una mejora en el rendimiento en tres pruebas Wingate sucesivas, tanto en la potencia media, como en la potencia máxima generada, independientemente de la producción de lactato, la cual no es diferente entre los grupos experimental y control (Rodríguez, Delgado, Rivera, Tapia, & Cristi-Montero, 2015).

En waterpolo se ha investigado el efecto de cuatro semanas de suplementación con β -alanina, y se obtienen pequeñas mejoras en la habilidad para realizar esprints de forma repetida (RSA), en el tiempo medio, peor tiempo y tiempo total empleado. Pero solo se produce este efecto, en el primer momento en el que se realizan las pruebas. Este hecho podría suponer una mejora de la RSA en el primer trimestre de competición cuando se suplementa con β -alanina (Brisola, et al. 2016).

Los beneficios en el rendimiento generados por la ingesta de este suplemento en atletas altamente entrenados son limitados, pero potencialmente valiosos. Permite mejorar el rendimiento deportivo debido a que permite un mayor volumen de entrenamiento en atletas de deportes de equipo, permitiendo una mayor carga y como consecuencia mayores adaptaciones (Bellinger, 2014).

Las conclusiones que establecen Saunders et al (2017a) sobre los efectos producidos por la suplementación con β -alanina en la capacidad de ejercicio y rendimiento son:

- El efecto provocado por esta suplementación se encuentra limitado principalmente por la duración del ejercicio. Una duración de 0,5-10 minutos tiene las mayores ganancias, mientras que el ejercicio de muy corta duración (<0,5 min) no obtienen beneficios.
- El efecto de la β -alanina en individuos entrenados es menor que en individuos no entrenados. Zanella et al (2017) también obtienen el mismo resultado concluyendo que el consumo de β -alanina tiene un efecto superior en personas poco entrenadas.
- Tanto los ejercicios mono articulares, como aquellos que requieren la participación conjunta de todo el cuerpo, se benefician equitativamente de la β -alanina.

5.2.2. Estudios que no apoyan su eficacia.

Un aumento en los niveles de carnosina no siempre se traduce en una mejora del rendimiento, situación que puede ser la causa de la controversia existente en los resultados de diferentes investigaciones, que buscan comprobar la eficacia de esta suplementación. En la actualidad existen estudios cuya suplementación con β -alanina no estuvo acompañada de mejoras significativas en el rendimiento.

De nuevo en el ámbito del ciclismo, se evalúa cómo afecta una dosis de 1,6 gr / día β -alanina, al rendimiento anaeróbico de ciclistas femeninas, sin encontrar ningún efecto ni variable fisiológica significativa, que influyese sobre el rendimiento ante el consumo de β -alanina. Únicamente se observa que una dosis aguda de β -alanina 1,6 gr/día, disminuye la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), en actividades de potencia anaeróbica en ciclistas entrenados (Glenn, Smith, Moyen, Binns, & Gray, 2015).

En la modalidad deportiva de natación, los resultados obtenidos no muestran diferencias significativas entre el grupo de placebo y el suplementado con β -alanina en esprines con una duración inferior a 60 segundos. En esta ocasión, el consumo de este suplemento no se puede asociar con una mejora del rendimiento (Mero, et al. 2013).

En los deportes de lucha y de fuerza con luchadores, no se observaron diferencias significativas entre el grupo placebo y el que consume β -alanina. Realizando una ingesta de 4 gr/día durante la primera semana y 6 gr/día, en las siguientes cuatro. Sin embargo, la hipótesis que se desprende de este estudio es, que al tratarse de sujetos entrenados anaerómicamente ya tenían elevados niveles de carnosina muscular (Jagim, Wright, Brice & Doberstein, 2013). En jugadores profesionales de rugby, que participan en las ligas Rugby League y Australian Rules Football Players, la eficacia en el rendimiento deportivo se considera incompleta, porque la dosis diaria recomendada es consumida únicamente por la mitad de los jugadores y solo es el 35% de estos, puede identificar beneficios de la suplementación con β -alanina (Nassis, et al. 2016).

Con el objetivo de conocer los efectos a corto y largo plazo de la administración de β -alanina, se investiga a mujeres activas en edad universitaria: su composición corporal, el rendimiento ante ejercicio aeróbico, anaeróbico y niveles de carnosina muscular. Es de los primeros estudios que utiliza una estrategia de dosificación individualizada, para administrar la suplementación, obteniendo unos resultados no significativos. Los propios autores creen que puede ser producto de la estrategia de dosificación empleada, pues las dosis calculadas pueden no haber sido lo suficientemente grandes como para provocar respuestas positivas (Kresta, et al. 2014).

5.3. Dosis

La suplementación con β -alanina puede realizarse de dos formas, por un lado, una dosis aguda, que consiste en realizar una única toma diaria. Y por otro lado de forma sostenida, que consiste en repartir la dosis diaria en diferentes tomas a lo largo del día.

Sin embargo, existe un enfoque donde estas dos formas de suplementación aparecen de forma combinada. Primero se satura las enzimas de transaminación GABA-T y AGXT2 con una única dosis elevada de β -alanina, seguido de dosis más bajas varias veces al día mediante tabletas de liberación lenta, para disminuir los efectos secundarios (Hostrup, & Bangsbo, 2016).

La cantidad de β -alanina ingerida en cada dosis debe encontrarse entre 4 y 6 g/día, cantidad suficiente para producir mejoras en los niveles de carnosina muscular (Nassis, et al. 2016). Esta dosis se propone que sea consumida de forma espaciada (sostenida) en 4-8 tomas diarias de 0,8-1,6 g a intervalos de 3 horas, con objeto de minimizar posibles efectos secundarios (Domínguez, et al. 2015).

Aparecen diferentes hipótesis sobre el tiempo que debe transcurrir desde que se produce la primera toma de β -alanina, hasta que se pueden observar cambios. Algunos autores establecen que este periodo puede ser de 2-4 semanas, para comenzar a hablar de mejoras significativas (Nassis, et al. 2016). Sin embargo, otros estudios sugieren que la β -alanina aumenta significativamente las concentraciones de carnosina, después de al menos 28 días de suplementación (Glenn, et al. 2016). También se considera la posibilidad de que se produzca un incremento, desde el comienzo de la suplementación (Saunders, et al. 2017a). Trexler et al (2015) son más específicos y además de establecer el tiempo que debe transcurrir, lo hacen respecto al porcentaje de mejora en el que se produce. Así estos autores defienden que ante el consumo de β -alanina previamente establecido, es a partir de la cuarta semana cuando se observa un aumento significativo de la carnosina, hasta en un 64%, siendo mayor este aumento después de 10 semanas (80%).

Es decir, el desacuerdo que existe para establecer el tiempo que debe transcurrir una vez comenzada la suplementación, y poder observar los efectos producidos puede explicarse porque el entrenamiento, la dieta, el contenido de carnosina inicial y la composición de las fibras musculares, pueden afectar al metabolismo de equilibrio de β -alanina y carnosina muscular (Hostrup, & Bangsbo, 2016).

5.4. Ingesta coordinada

El principal efecto que explica el aumento del rendimiento de la β -alanina, es el de tamponador de H^+ producida por el aumento de la concentración de carnosina. Sin embargo, esta acción fisiológica no se desarrolla de forma exclusiva por este dipéptido, ni es el más relevante para el organismo, sino que este rol lo adquiere el bicarbonato. Además, tampoco es el único que actúa como tampón intracelular, porque comparte esta acción con la fosfocreatina (Abe, 2000). Aparecen así numerosas hipótesis sobre los efectos que puede generar este suplemento, al realizar una ingesta coordinada con otros.

De esta forma, recientemente se han llevado a cabo diferentes trabajos que tienen como objetivo, conocer la eficacia de ingerir simultáneamente β -alanina con otras ayudas ergogénicas, como el bicarbonato de sodio y la creatina. Se ha descrito que la combinación de β -alanina con otros suplementos puede ser ventajosa, cuando es lo suficientemente alta (4-6 g al día) y lo suficientemente prolongada (mínimo 4 semanas) (Trexler, et al. 2015).

5.4.1. Bicarbonato de sodio

En la actualidad diversos estudios han validado la eficacia de la suplementación mediante el bicarbonato sódico, generando un aumento en los niveles de bicarbonato, en el pH sanguíneo y verificando la mejora en el ejercicio de alta intensidad (Ducker, et al. 2013). Desde principios del siglo XXI, se estudia los beneficios proporcionados por la ingesta coordinada de β -alanina y bicarbonato, dando lugar a diferentes resultados que apuntan en direcciones opuestas.

Las estrategias de carga de bicarbonato (tampón extracelular) y β -alanina (tampón intracelular), pueden combinarse para aumentar la capacidad de tamponamiento total y la tolerancia a la acidosis. La combinación puede ser mejor que cualquiera de los productos utilizados de forma individual, debido al mayor aumento en la capacidad de amortiguación, al incrementarse tanto dentro como fuera de la célula muscular. Se indica de esta forma, que la combinación puede ser útil para un atleta que, debido al esfuerzo, experimenta importantes caídas del pH muscular.

Sin embargo, los beneficios de combinar los protocolos de carga del bicarbonato y de β -alanina pueden no ser eficaces cuando el consumo de uno de los dos suplementos, genera la amortiguación suficiente para satisfacer las limitaciones fisiológicas del atleta (Burke, 2017).

Podemos clasificar los resultados en, *poco significativos* (Tobias, et al. 2013; Mero, et al. 2013), donde la utilización de forma coordinada de ambos suplementos no produce ninguna mejora adicional en el rendimiento. *Resultados contradictorios* como los obtenidos por Ducker et al (2013) que establecen que la administración de suplementos de bicarbonato de sodio de

forma simultánea con β -alanina, produce menores beneficios que cuando se suplementa únicamente con bicarbonato de sodio. *Resultados hipotéticos*, Sale et al (2011) hablan de una probabilidad de en torno al 70%, de tener un efecto mayor ante la suplementación de β -alanina + bicarbonato de sodio, en comparación con β -alanina sola. Y finalmente los *positivos*, aquellos que establecen una mejora en el rendimiento ante la co-suplementación de β -alanina y bicarbonato de sodio, debido al aumento de la capacidad de tamponamiento, tanto intracelular como extracelular, mostrando mejoras adicionales que las obtenidas sobre β -alanina sola (Saunders, et al. 2017a).

5.4.2. Creatina

La creatina es otro suplemento que ha demostrado mejorar el rendimiento ante ejercicios de alta intensidad, mejora el rendimiento debido al aumento de la fosfocreatina y de la disponibilidad de adenosin trifosfato (ATP) (Trexler, et al. 2015). Al proporcionar unos efectos fisiológicos en la misma dirección que la β -alanina, también ha generado un gran número de hipótesis, sobre los posibles efectos que puede producir su ingesta de forma simultánea.

Aunque los efectos fisiológicos se orientan en la misma dirección, los diferentes estudios no han establecido que su consumo de forma coordinada, generen una mejora superior en el rendimiento. Volvemos a encontrar investigaciones con resultados *poco significativos* (Stout, Cramer, Mielke, O'kroy, Torok, & Zoeller, 2006), donde la utilización de ambos suplementos, no produce ninguna mejora adicional en el rendimiento. *Incompletas*, que a pesar de obtener mejoras significativas deben tratarse con precaución, porque los grupos realizados no atienden a todas las formas de consumo (Bellinger, 2014).

Esta limitación es superada por Zoeller, Stout, O'kroy, Torok, & Mielke et al (2007) que contemplan todas las variables (combinación o ausencia de suplementos) en los distintos grupos realizados. Obteniendo una mejora superior en el que se coordina la β -alanina y monohidrato de creatina, así puede clasificarse como resultados *positivos*, efectos confirmados por otros autores (Belviranlı, Okudan, Revan, Balci, & Gokbel, 2016).

No obstante, se necesita un mayor número de estudios para evaluar esta sinergia potencial, además hay que tener en cuenta que según sus mecanismos ergogénicos deben orientarse hacia ejercicios de alta intensidad y series inferiores a 15 minutos (Trexler, et al. 2015). Por esto en la actualidad, no se acepta que exista una correcta sinergia, entre el consumo de estos dos suplementos de forma simultánea con la β -alanina.

5.5. Problemas asociados a su consumo

A pesar de ser una práctica segura para poblaciones sanas que consumen una dosis dentro de los parámetros recomendados, diferentes estudios hablan de un posible efecto secundario, la parestesia. Es una sensación de hormigueo generalmente en la cara, cuello y/o manos producida unos minutos después de la toma de β -alanina y que desaparece en torno a 60-90 minutos después de la administración cuando no es sostenida (Harris, et al. 2006). Normalmente se desencadena después de ingerir cantidades de β -alanina superiores a las recomendadas. La medida para atenuar este efecto puede ser, utilizar dosis más bajas divididas, de alrededor a 1,6 g o usando una fórmula de liberación sostenida (Trexler, et al. 2015).

5.6. Posibles líneas de investigación

Actualmente existe la necesidad de un mayor número de estudios para responder a las dudas planteadas sobre este suplemento, algunas de ellas poco contempladas hasta ahora. Solo entre el 3-6% de la cantidad ingerida de β -alanina se incorpora al músculo y únicamente entre el 1-2%, se excreta por la orina, por lo que gran parte de su destino sigue siendo desconocido (Hostrup, & Bangsbo, 2016). Además se proponen pautas y posibles líneas de investigación, para determinar los efectos de la β -alanina sobre la fuerza y en el rendimiento de resistencia, ante esfuerzos superiores de 25 minutos de duración (Trexler, et al. 2015). Aparecen también otras líneas de trabajo muy atractivas, pues todavía no se conocen todos los efectos específicos que genera la carnosina a nivel neural o sobre el tejido cardiaco, pudiendo producir efectos fisiológicos beneficiosos no solo para el rendimiento deportivo.

Saunders et al (2017a), hablan de la necesidad de estudios, orientados a determinar la contribución exacta de la carnosina al almacenamiento en buffer y a los cambios producidos por la suplementación dietética de β -alanina. Además, existe un gran interés en determinar la mayor ganancia en la capacidad de ejercicio, debido al aumento de la concentración de carnosina muscular, utilizando protocolos más prolongados, comprobando si las ganancias reflejan directamente los cambios en la carnosina intracelular; proporcionar pautas para diseñar protocolos más apropiados, que determinen los cambios en la concentración de carnosina muscular, producidos por la suplementación con β -alanina, estableciendo que para medir la capacidad de ejercicio el tiempo de la prueba debe ser de entre 0,5-10 min. Otros autores destacan que en futuras investigaciones todos los diseños cruzados deben tener en cuenta el tiempo de lavado, siendo preciso esperar, al menos, 9 o 10 semanas para medir los cambios. También, se destaca que sería interesante realizar protocolos de valoración intermitentes, con objeto de poder determinar el efecto de la suplementación en situaciones de un pH más bajo (Domínguez, et al. 2015).

Para que se puedan conocer de manera precisa todos estos efectos, es muy importante que se reduzca la heterogeneidad de los protocolos, lo que proporcionará un menor número de estudios que muestran resultados no significativos. Además se deben enfocar los estudios hacia campos poco desarrollados, como son los aspectos tácticos y hacia poblaciones poco estudiadas, las mujeres y los ancianos; poblaciones que tienen la necesidad de un mayor número de estudios, que respalden la eficacia ante determinadas actividades físicas (Zanella, et al. 2017).

Otros autores hablan de la posibilidad de proporcionar efectos al organismo si se ingiere de forma coordinada con diferentes suplementos, destacando el bicarbonato de sodio y la creatina. Sin embargo, muchos de los estudios realizados no han obtenido unos resultados en la línea esperada y por ello aparece la necesidad de realizar un mayor número de investigaciones.

Aparece otro suplemento que proporciona beneficios en la misma dirección, la taurina. Tiene unos efectos fisiológicos parecidos, en cuanto a la captación y la eliminación celular, surgiendo así la necesidad de investigar la co-ingesta de estos dos suplementos orientados a tener una mejora en el rendimiento. (Hostrup, & Bangsbo, 2016).

Hay que destacar el tamaño de las muestras de los diferentes estudios analizados, pues muchos de ellos apenas superan la veintena de sujetos analizados, encontrando investigaciones que únicamente examinan a 22 jugadores (Brisola, et al. 2016) o 24 futbolistas (Ducker, et al. 2013). Incluso encontramos muestras formadas por 10 futbolistas (Rodríguez, et al. 2015), 12 ciclistas (Glenn, et al. 2015) o 13 nadadores (Mero, et al. 2013).

Es evidente que los estudios se encuentran limitados principalmente por el factor económico y en muchas ocasiones, se realizan únicamente en un club o ante atletas de máxima categoría. Pero, en futuras investigaciones debería ampliarse el número de individuos que componen la muestra y el número de grupos realizado, porque se deben contemplar todas las variables que puedan influir en los resultados. Así se obtendrán unas conclusiones de mayor validez, fiabilidad, reproductibilidad y objetividad; características que dotan a los estudios de mayor calidad.

6. Conclusión

El incremento en el número de estudios realizados sobre la β -alanina, ha permitido que se demuestre su eficacia para incrementar los niveles de carnosina, tras su consumo de forma controlada.

Esto ha generado que se recomiende su consumo para las modalidades deportivas de corta duración, debido a su acción como tamponador intracelular. Que permite amortiguar el lactato acumulado durante el ejercicio de alta intensidad, aumentando así la intensidad del esfuerzo que puede desarrollar el deportista. Pero también los deportes de predominancia aeróbica, pueden aprovecharse del consumo de la β -alanina, debido a que un aumento del umbral anaeróbico, puede mejorar la capacidad anaeróbica láctica.

No obstante, hay que tener en cuenta la existencia de estudios que obtienen unos resultados que no apoyan la eficacia de la β -alanina. Resultados que generalmente son atribuidos, a la variabilidad en las concentraciones iniciales de carnosina, a la modalidad deportiva practicada, a la dosis suministrada y en algunos casos a errores metodológicos.

La dosis consumida debe encontrarse dentro del rango de 4-6 g/día de β -alanina, suficiente para producir mejoras en el rendimiento, sin suponer ningún efecto perjudicial para el organismo. Se pueden realizar diferentes formas y estrategias de dosificación, aguda y/o sostenida, esta segunda es descrita como más segura, aunque el único efecto secundario que se ha descrito es la parestesia, que desaparece tras un corto periodo de tiempo una vez deja de ser ingerida la β -alanina.

A pesar de que este aminoácido cuenta con un creciente número de estudios, futuras investigaciones deben concretar más los efectos que produce, resolviendo también la incógnita de su paradero corporal y su actuación de forma coordinada con otros suplementos. Pero además se debe tratar la β -alanina fuera del ámbito competitivo, porque genera efectos fisiológicos que son beneficiosos también para el ámbito de la salud. Es necesario que futuras investigaciones, se centren en los efectos corporales que puedan encaminarse al mantenimiento o mejora de la salud de los individuos, y sus efectos sobre poblaciones poco estudiadas como la tercera edad.

7. Referencias bibliográficas

- Abe, H. (2000). Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry*, 65(7), 757-765.
- Artioli, G. G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J., & Lancha, A. H. (2010). Role of β -alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1162-1173.
- Australian Institute of Sport. (2018). Recuperado de <https://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements/groupa>
- Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., & Derave, W. (2009). Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 837-842.
- Bellinger, P. M. (2014). β -alanine supplementation for athletic performance: an update. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1751-1770.
- Bellinger, P. M., & Minahan, C. L. (2016). Additive benefits of β -alanine supplementation and sprint-Interval training. *Medicine and Science In Sports and Exercise*, 48(12), 2417-2425.
- Belviranlı, M., Okudan, N., Revan, S., Balci, S., & Gokbel. H. (2016). Repeated supramaximal exercise-induced oxidative stress: effect of β -alanine plus creatine supplementation. *Asian Journal of Sports Medicine*, 7(1), e26843.
- Bhattacharya, T. K., Pence, B. D., Ossyra, J. M., Gibbons, T. E., Perez, S., McCusker, R. H., ... & Rhodes, J. S. (2015). Exercise but not (-)-epigallocatechin-3-gallate or β -alanine enhances physical fitness, brain plasticity, and behavioral performance in mice. *Physiology & Behavior*, 145, 29-37.
- Black, M. I., Jones, A. M., Morgan, P. T., Bailey, S. J., Fulford, J., & Vanhatalo, A. (2018). The effects of β -alanine supplementation on muscle pH and the power duration relationship during high-intensity exercise. *Frontiers in Physiology*, 9, 111.
- Blancquaert, L., Baba, S. P., Kwiatkowski, S., Stautemas, J., Stegen, S., Barbaresi, S., ... & Everaert, A. (2016). Carnosine and anserine homeostasis in skeletal muscle and heart is controlled by β -alanine transamination. *The Journal of Physiology*, 594(17), 4849-4863.
- Boldyrev, A. A. (2012). Carnosine: new concept for the function of an old molecule. *Biochemistry*, 77(4), 313-326.
- Brisola, G. M. P., Artioli, G. G., Papoti, M., & Zagatto, A. M. (2016). Effects of four weeks of β -alanine supplementation on repeated sprint ability in water polo players. *Plos One*, 11(12), e0167968.

- Burke, L. M. (2017). Practical issues in evidence-based use of performance supplements: supplement interactions, repeated use and individual responses. *Sports Medicine*, 47(1), 79-100.
- Close, G. L., Hamilton, D. L., Philp, A., Burke, L. M., & Morton, J. P. (2016). New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 144-158.
- Danaher, J., Gerber, T., Wellard, R. M., & Stathis, C. G. (2014). The effect of β -alanina and NaHCO₃ co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with high-intensity exercise in healthy males. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1715-1724.
- Derave, W., Özdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., ... & Achten, E. (2007). β -alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 103(5), 1736-1743.
- Dobrota, D., Fedorova, T., Stvolinsky, S., Babusikova, E., Likavcanova, K., Drgova, A., ... & Boldyrev, A. (2005). Carnosine protects the brain of rats and Mongolian gerbils against ischemic injury: after-stroke-effect. *Neurochemical Research*, 30(10), 1283-1288.
- Domínguez, R., Lougedo, J. H., Maté-Muñoz, J. L., & Garnacho-Cataño, M. V. (2015). Efectos de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 155-169.
- Ducker, K. J., Dawson, B., & Wallman, K. E. (2013). Effect of β -alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(12), 3450-3460.
- Glenn, J. M., Gray, M., Stewart Jr, R. W., Moyen, N. E., Kavouras, S. A., DiBrezza, R., ... & Stone, M. S. (2016). Effects of 28-day β -alanine supplementation on isokinetic exercise performance and body composition in female masters athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(1), 200-207.
- Glenn, J. M., Smith, K., Moyen, N. E., Binns, A., & Gray, M. (2015). Effects of acute β -alanine supplementation on anaerobic performance in trained female cyclists. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 61(2), 161-166.
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., ... & Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied β -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30(3), 279-289.
- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., ... & Wise, J. A. (2007). Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32(2), 225-233.

- Hostrup, M., & Bangsbo, J. (2016). Improving β -alanine supplementation strategy to enhance exercise performance in athletes. *The Journal of Physiology*, 594(17), 4701-4702.
- Houjehani, S., Kheirouri, S., Faraji, E., & Jafarabadi, M. A. (2018). L-Carnosine supplementation attenuated fasting glucose, triglycerides, advanced glycation end products, and tumor necrosis factor- α levels in patients with type 2 diabetes: a double-blind placebo-controlled randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 49, 96-106.
- Jagim, A. R., Wright, G. A., Brice, A. G., & Doberstein, S. T. (2013). Effects of β -alanine supplementation on sprint endurance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 526-532.
- Kresta, J. Y., Oliver, M. O., Jagim, A. R., Ruckey, J., Riechman, S., Kelly, K., ... & Kreider, R. B. (2014). Effects of 28 days of β -alanine and creatine supplementation on muscle carnosine, body composition and exercise performance in recreationally active females. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 55.
- Mastaloudis, A., Leonard, S. W., & Traber, M. G. (2001). Oxidative stress in athletes during extreme endurance exercise. *Free Radical Biology and Medicine*, 31(7), 911-922.
- Mero, A., Hirvonen, P., Saarela, J., Hulmi, J., Hoffman, J. R., & Stout, J. R. (2013). Effect of sodium bicarbonate and β -alanine supplementation on maximal sprint swimming. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 52.
- Nassis, G. P., Sporer, B., & Stathis, C. G. (2016). β -alanine efficacy for sports performance improvement: from science to practice. *British Journal of Sports Medicine*, 51(8), 626-627.
- Rodríguez, F., Delgado, A., Rivera, P., Tapia, V., & Cristi-Montero, C. (2015). Efectos de la suplementación con β -alanina en test de Wingate en jugadoras universitarias de fútbol femenino. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 430-435.
- Rosas, F., Ramírez-Campillo, R., Martínez, C., Caniuqueo, A., Cañas-Jamet, R., McCrudden, E., ... & Izquierdo, M. (2017). Effects of plyometric training and β -alanine supplementation on maximal-intensity exercise and endurance in female soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 99-109.
- Rubtsov, A. M. (2001). Molecular mechanisms of regulation of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels (ryanodine receptors), muscle fatigue, and Severin's phenomenon. *Biochemistry*, 66(10), 1132-1143.
- Sale, C., Saunders, B., Hudson, S., Wise, J. A., Harris, R. C., & Sunderland, C. D. (2011). Effect of β -alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1972-1978.

- Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., Swinton, P. A., Dolan, E., Roschel, H., ... & Gualano, B. (2017a). β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(8), 658-669.
- Saunders, B., Painelli, V. D. S., De Oliveira, L. F., Silva, V. D. E., Da Silva, R. P., Riani, L., ... & Artioli, G. G. (2017b). Twenty-four weeks of β -alanine supplementation on carnosine content, related genes, and exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(5), 896-906.
- Shaw, G., Slater, G., & Burke, L. M. (2016). Supplement use of elite Australian swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(3), 249-258.
- Solis, M. Y., Cooper, S., Hobson, R. M., Artioli, G. G., Otaduy, M. C., Roschel, H., ... & Sale, C. (2015). Effects of β -alanine supplementation on brain homocarnosine/carnosine signal and cognitive function: an exploratory study. *Plos One*, 10(4), e0123857.
- Stegen, S., Blancquaert, L., Everaert, I., Bex, T., Taes, Y., Calders, P.,... & Derave, W. (2013). Meal and β -alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 45(8), 1478–1485.
- Stout, J. R., Cramer, J. T., Mielke, M., O'kroy, J., Torok, D. J., & Zoeller, R. F. (2006). Effects of twenty-eight days of β -alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 928 - 931.
- Tallon, M. J., Harris, R. C., Boobis, L. H., Fallowfield, J. L., & Wise, J. A. (2005). The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 725.
- Tipton, K. D., Jeukendrup, A. E., & Hespel, P. (2007). Nutrition for the sprinter. *Journal of Sports Sciences*, 25(1), 5-15.
- Tobias, G., Benatti, F. B., de Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., ... & Artioli, G. G. (2013). Additive effects of β -alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45(2), 309-317.
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Wilborn, C. D., Sale, C., ... Antonio, J. (2015). International society of sports nutrition position stand: β -alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 30.
- Wardenaar, F. C., Ceelen, I. J. M., Van Dijk, J. W., Hangelbroek, R. W. J., Van Roy, L., Van der Pouw, B., ... & Witkamp, R. F. (2017). Nutritional supplement use by Dutch elite and sub-elite athletes: does receiving dietary counseling make a difference?. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 27(1), 32-42.

- Zanella, P. B., Alves, F. D., & de Souza, C. G. (2017). Effects of β -alanine supplementation on performance and muscle fatigue in athletes and non-athletes of different sports: a systematic review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(9), 1132-1141.
- Zoeller, R. F., Stout, J. R., O'kroy, J. A., Torok, D. J., & Mielke, M. (2007). Effects of 28 days of β -alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate thresholds, and time to exhaustion. *Amino Acids*, 33(3), 505-510.