



**FACULTAD DE FARMACIA**  
Grado en Farmacia

**SUPLEMENTACIÓN CON  
AMORTIGUADORES PARA MEJORAR  
EL RENDIMIENTO EN  
DEPORTES DE FUERZA Y POTENCIA:  
REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Memoria de Trabajo de Fin de Grado

Sant Joan d'Alacant

Septiembre 2022

**Autor: Jesús López Jurado**

**Tutora: Elena García García**

**Cotutor: Néstor Vicente Salar**

**Modalidad: Revisión sistemática**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>CONTEXTO .....</b>	<b>4</b>
DEPORTES DE FUERZA Y POTENCIA.....	4
FIBRAS MUSCULARES .....	5
TIPOS DE VÍAS ENERGÉTICAS EN LA CONTRACCIÓN MUSCULAR <sup>2</sup> .....	5
SUPLEMENTACIÓN .....	8
BETA-ALANINA .....	9
BICARBONATO DE SODIO .....	11
CITRATO DE SODIO .....	12
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
DISEÑO .....	13
FUENTE DE OBTENCIÓN DE DATOS.....	13
TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	13
SELECCIÓN FINAL DE LOS ARTÍCULOS .....	15
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>16</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
BETA-ALANINA .....	26
BICARBONATO DE SODIO .....	28
CONTRAINDICACIONES .....	29
ELECCIÓN DEL MEJOR AMORTIGUADOR .....	30
<b>POSIBLES VÍAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</b>

## **RESUMEN**

La alimentación y el deporte juegan un rol importante en la salud. Hoy en día existe mucha popularidad sobre el uso de suplementos debido a un aumento de la población diana (aquella que acude a los gimnasios, así como deportistas de entornos competitivos) que utilizan estas sustancias que permiten mejorar el rendimiento deportivo o aspecto físico.

Los deportes de fuerza y potencia, como por ejemplo el powerlifting, halterofilia o fisicoculturismo están creciendo significativamente en las últimas décadas. Este tipo de deportes tienen la peculiaridad de utilizar en mayor proporción la vía aláctica y láctica, donde se produce una disminución del pH que da lugar a la fatiga muscular. Esta fatiga se debe a que el aumento de protones en el medio dificulta el correcto funcionamiento de los procesos químicos y metabólicos, esenciales para la ejecución del ejercicio, ya que se observa una disminución de la efectividad de la contracción muscular.

La suplementación con beta-alanina demuestra aumentar los niveles de carnosina intramuscular, derivando en un aumento del pH intracelular y aumentando el rendimiento significativamente. Por el contrario, posee ciertos efectos secundarios como la producción de parestesia.

Por otra parte, el bicarbonato de sodio y citrato de sodio, dos amortiguadores que actúan en medio extracelular, elevan indirectamente el pH intracelular y aumentan el rendimiento deportivo, pero en menor medida que la beta-alanina. El bicarbonato de sodio demuestra una mayor eficacia en el aumento del rendimiento que el citrato de sodio, pero presenta más reacciones adversas gastrointestinales como dolores estomacales, flatulencias, náuseas, vómitos, diarrea, etc. Esto puede repercutir en el uso del bicarbonato y por ello, se observa una baja incidencia en su uso.

Actualmente existe controversia en la utilización de estos amortiguadores del pH, ya que no se encuentran una cantidad de estudios suficiente para corroborar un aumento en el rendimiento para los deportes de fuerza y potencia. Además, este rendimiento presenta una gran variabilidad en función de la genética del

paciente, así como la transición aeróbica-anaeróbica a partir del instante en que el organismo obtiene energía a costa del metabolismo anaeróbico, que varía también en función del paciente. A todo esto hay que sumar las reacciones adversas gastrointestinales, que también pueden variar en función del paciente.

La justificación de este trabajo es el interés de realizar una revisión sistemática del uso de suplementos con amortiguadores para mejorar el rendimiento en deportes de fuerza y potencia. Y como farmacéutico, poder detectar esos posibles riesgos que pueden poseer y establecer unos protocolos de uso a través del Consejo Nutricional Farmacéutico y de esta forma poder orientar hacia conductas saludables.

## **CONTEXTO**

### **DEPORTES DE FUERZA Y POTENCIA**

En primer lugar, es necesaria la definición del concepto de fuerza en el ámbito del deporte. Ésta se define como la capacidad que presenta un músculo para poder ejercer tensión contra una resistencia, es decir, su capacidad para activarse. <sup>1</sup>

Por tanto, la fuerza aplicada en el deporte precisa de esfuerzos a la máxima intensidad y total contracción muscular pero breves, y que a su vez dispongan de una resistencia sobre la que aplicar esta fuerza. Varios ejemplos serían el levantamiento de potencia o powerlifting, el fisiculturismo, la halterofilia, strongman, atletismo de fuerza, etc. Todas estas disciplinas coinciden en su necesidad de utilizar un estímulo como cuerdas, poleas, mancuernas o incluso piedras para lograr la tensión antes mencionada. <sup>2</sup>

Por otra parte, se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza tiene múltiples beneficios para la salud, por ejemplo:

- Prevención de la diabetes y mejora física de los pacientes que padecen diabetes.<sup>3</sup>
- Mejoría de la fuerza muscular y de la densidad ósea, previniendo además la osteoporosis.<sup>4</sup>
- Mejora en la resistencia cardiovascular.<sup>5</sup>

- Prevención del cáncer de colon.<sup>4</sup>

## FIBRAS MUSCULARES

Las fibras musculares se pueden clasificar en fibras de tipo I (rojas), siendo de contracción lenta y fibras de tipo II (blancas), de contracción rápida.<sup>1</sup>

La diferencia se estriba en que las fibras de tipo I presentan un diámetro menor que las de tipo II, con una elevada capacidad oxidativa y baja capacidad glucolítica, teniendo una mayor resistencia a la fatiga. Son fibras eficientes para actividades de poca intensidad, pero prolongadas, como por ejemplo carreras de fondo, o simplemente para mantener la postura. Esto se debe a su gran cantidad de mitocondrias, que producen el ATP de una forma lenta mediante fosforilación oxidativa.<sup>6</sup>

Las fibras de tipo II se dividen en IIa y IIb: <sup>1</sup> Las fibras IIa se caracterizan por presentar una capacidad tanto oxidativa como glucolítica, pudiendo realizar movimientos repetitivos y rápidos. Al igual que las fibras de tipo I, presentan una elevada cantidad de mitocondrias, lo que permite una recuperación muscular más rápida.<sup>6</sup> Se hipotetiza que este tipo de fibras son precursoras de las otras dos, ya que comparten características de ambas. <sup>7</sup>

Las fibras de tipo IIb son histológicamente más blancas (por su menor cantidad de mioglobina), y producen una contracción mucho más rápida que las anteriores. Poseen una elevada capacidad glucolítica pero baja capacidad oxidativa, ya que presentan un bajo número de mitocondrias. Debido a esto, son las fibras ideales para ejercicios de elevada fuerza y potencia, ya que se reclutan cuando se realiza un esfuerzo intenso y rápido. Son fibras que se fatigan muy rápidamente y necesitan reposo después de finalizar el ejercicio para recuperar energía.<sup>6</sup>

## TIPOS DE VÍAS ENERGÉTICAS EN LA CONTRACCIÓN MUSCULAR <sup>2</sup>

Como se observa en la figura 1, hay tres tipos de sistemas energéticos que pueden actuar en el músculo para producir energía en forma de ATP. Dependiendo de la actividad que se realice, unas vías u otras estarán en mayor proporción activadas:

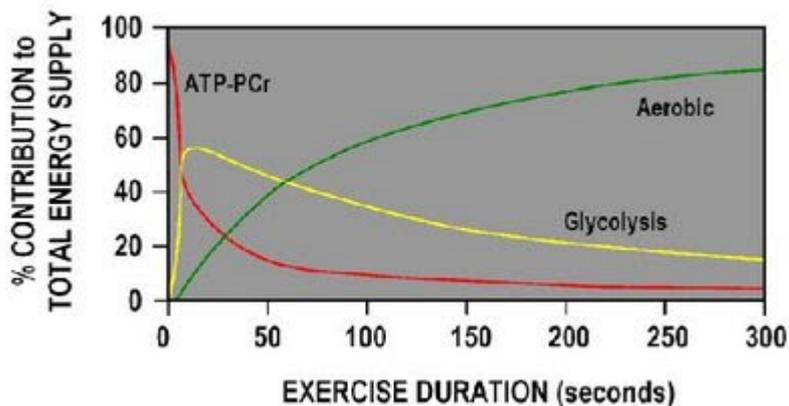


Figura 1: Contribución al suministro total de energía de cada vía metabólica en función del tiempo de ejercicio (Gastin PB 2001).<sup>8</sup>

El sistema de fosfágenos o aláctico (línea roja en la Figura 1), es el que mayor energía proporciona en esfuerzos máximos durante los primeros 10 segundos. En una actividad más prolongada en el tiempo, la mayor proporción de energía proviene del sistema glucolítico – láctico (línea amarilla en la Figura 1), hasta aproximadamente los 60 segundos, donde comienza a disminuir su contribución. Si se prolonga la duración de la actividad, entra en juego el sistema aeróbico (línea verde en la Figura 1), como es el ejemplo de las maratones. Esta vía metabólica no es relevante en esta revisión ya que llega un momento donde la contribución de energía de la vía permanece prácticamente estable con respecto al tiempo sin producir un desequilibrio de protones.

A continuación, se explicarán los dos primeros sistemas energéticos, ya que en los deportes de fuerza y potencia predominan los ejercicios de corta duración e intensos. Inicialmente, en el caso de la vía del sistema anaeróbico-aláctico (fosfágenos), se produce la hidrólisis del ATP en el citoplasma de la célula muscular, de manera que se obtiene  $ADP + P + \text{energía}$ . Esta energía es insuficiente, ya que no se puede mantener durante demasiado tiempo una actividad física a máxima intensidad (se trata de trabajos de tipo anaeróbico) en ejercicios de fuerza y potencia. Por ello, entra en juego la fosfocreatina (Figura 2), que se encuentra en el músculo esquelético en mayor proporción que el ATP. La fosfocreatina se degrada liberándose energía que permite la unión de un

fosfato inorgánico y el ADP, generando ATP, y por tanto, energía adicional para lograr la contracción muscular.

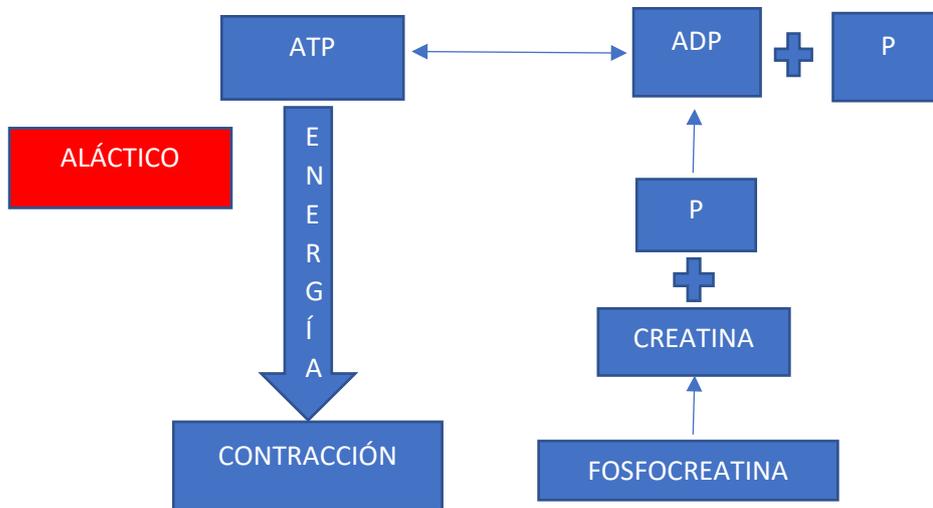


Figura 2: Seguimiento del sistema aláctico desde la fosfocreatina hasta la contracción muscular

De este modo, se observa que el factor limitante para la producción de energía durante los segundos iniciales sería el ATP y especialmente la fosfocreatina.

Una vez consumida la fosfocreatina y el ATP (sistema de fosfágenos), el sistema anaeróbico láctico es el que pasa a proporcionar la mayor contribución energética. En esta vía, se recurre al glucógeno muscular para obtener energía (Figura 3):

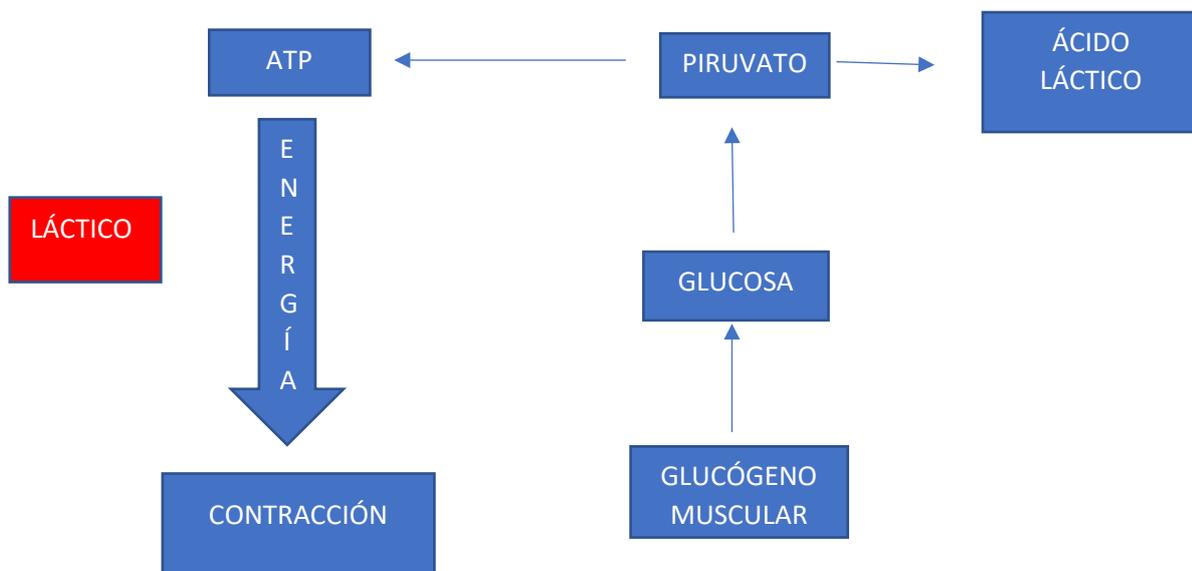


Figura 1: Seguimiento del sistema láctico desde el glucógeno muscular hasta la contracción muscular.

El glucógeno rinde glucosa a través de la glucogenólisis, y ésta a través de la glucólisis, producirá piruvato. En condiciones de baja disponibilidad de oxígeno, el piruvato, mediante fermentación láctica, producirá ácido láctico, obteniéndose 2 ATP por cada glucosa hidrolizada. Esta vía tiene la peculiaridad de que la formación de ácido láctico libera protones al medio, acidificándolo y dificultando posteriormente el proceso de formación de ATP. Este sistema de obtención de energía permite ejercicios de entre 60 y 90 segundos de duración (Figura 1).

### SUPLEMENTACIÓN

Según el Instituto Australiano de Deporte (AIS en sus siglas en inglés), la suplementación es la administración de un complemento al organismo, siendo éste una vitamina, un mineral, un elemento botánico, un aminoácido o cualquier sustancia dietética o combinaciones de estas que logre un beneficio en el deportista.<sup>9</sup>

Esta definición es incompleta, ya que depende de si el paciente consume o no una dieta controlada y saludable, además de que debe definirse concretamente cuál es el efecto beneficioso en deportistas. Por ello, debe definirse también el concepto de ayuda ergonutricional.

Una ayuda ergonutricional es el consumo de un suplemento añadido a la dieta habitual del deportista con el fin de lograr un aumento en el rendimiento deportivo. Es decir, se logra intensificar el nivel de prestación motora minimizando en lo posible la fatiga del atleta sin poner en riesgo su salud.

La legislación de la Unión Europea actual que hace referencia a estos productos es la Directiva “2002/46/EC relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de complementos alimenticios”. En España el último artículo referente a los suplementos nutricionales y deportivos es el RD 1275/2003 de 10 de octubre, donde se explican los requerimientos de estos productos para poder ser legalizados en España respecto a concentraciones y controles de calidad, pero principalmente se centra en las normas de etiquetado para asegurar que los usuarios sepan lo que están comprando.

Para un deportista es fundamental no caer en fatiga crónica, lesión o enfermedad. Además del tipo de alimento, es importante consumir las cantidades adecuadas de energía, nutrientes y agua, con la regularidad correcta y con la adaptación apropiada a los horarios de los entrenamientos y de las competiciones. Es importante tener en cuenta la disciplina deportiva y el momento de la temporada. Pero en muchas ocasiones todas estas recomendaciones no son suficientes y el deportista recurre a la toma de suplementos en un intento de mejorar su rendimiento deportivo. Estos productos deben ser de máxima seguridad y calidad, y por supuesto, exentos de cualquier sustancia prohibida en la práctica deportiva.

## *BETA-ALANINA*

### *Definición*

La Beta-alanina, también conocida como ácido 3-aminopropanoico, es un aminoácido proteogénico formado endógenamente en el hígado gracias a la degradación de uracilo, por lo que es un aminoácido no esencial.<sup>10</sup> Las principales fuentes de obtención de este aminoácido son carnes como la de cerdo, pollo o carne roja.<sup>11</sup>

Forma parte, junto con la histidina, del dipéptido citoplasmático denominado carnosina, que se encuentra abundantemente en el músculo esquelético y en el sistema nervioso central. Esta formación se lleva a cabo gracias a la enzima carnosina sintasa y ATP, liberando AMP + PPi<sup>12</sup>.

La Beta-alanina es el primer reactivo en consumirse completamente en la reacción de formación de carnosina por lo tanto es limitante. La histidina, por su parte, es un aminoácido esencial que se encuentra en cantidades suficientes en el organismo. Además, la enzima carnosina sintasa presenta una menor afinidad por la Beta-alanina, dándole un mayor peso en su papel limitante con respecto a la histidina.<sup>13</sup> Este hecho da pie a abrir el debate de una posible suplementación de Beta-alanina, con el objetivo de aumentar los niveles de carnosina y, en consecuencia, lograr un mejor control de la acidosis láctica producida durante el

ejercicio. Algunos estudios sugieren un incremento del 40-80% de los niveles de carnosina a la posterior suplementación con Beta-alanina.<sup>14,15,16,17</sup>

Cabe recalcar que la variabilidad residual es muy grande, dependiendo de diversos factores como el peso del individuo, su absorción, la masa muscular, etc.<sup>18</sup>

### *Mecanismo de acción*

La carnosina, por si sola, no presenta ningún efecto directo que permita la obtención de ATP. No obstante, algunas de las funciones de la carnosina están relacionadas con la síntesis de ATP, por lo que se logra obtener de forma indirecta:

- Presenta como función principal la regulación del pH, ya que es la principal proteína amortiguadora intracelular. Por ello, puede captar protones en una contracción muscular, enlenteciendo la acidosis y consecuentemente la fatiga muscular.<sup>13</sup>
- Promueve la sensibilidad de las fibras musculares al calcio, mejorando así la excitación-contracción muscular, ya que activa los canales de calcio en las fibras musculares tipo I y II, permitiendo una liberación de calcio desde el retículo endoplasmático hacia el citosol.<sup>13,17</sup> Es importante recalcar que se hayan mayores concentraciones de carnosina en las fibras musculares de tipo II, debido a un mayor uso de la vía anaeróbica-láctica.<sup>13</sup>

Teniendo en cuenta estas dos funciones, la carnosina actúa como un intercambiador de iones H<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>. Esto explica el efecto tampón antes mencionado y la supuesta mayor capacidad para contraer las fibras musculares, además de que diversos estudios han demostrado la relevancia de la regulación intracelular del pH en esfuerzos de alta intensidad, aunque no sea el factor limitante para la obtención de energía.<sup>19</sup>

A todo ello, hay que sumar una probable acción antioxidante de este dipéptido, facilitando así la contracción, la neutralización de radicales libres y una reducción de la fatiga, ya que interfiere en las reacciones de peroxidación lipídica protegiendo a las membranas celulares.<sup>13</sup>

Por tanto, la Beta-alanina podría ser útil en ejercicios de fuerza y potencia ya que se caracterizan por una intensidad elevada y a un tiempo limitado. Algunos estudios indican que su efectividad no se ha demostrado en ejercicios de más de 60-90 segundos, no obstante, otros estudios como el metaanálisis de Saunders<sup>12</sup> indican su efectividad en ejercicios cuya duración oscila entre 1,5 y 4 minutos. La capacidad de amortiguamiento natural de la acidosis se encuentra sobre un 7-10%,<sup>20,21</sup> llegando a un 15-25% tras la suplementación con beta-alanina.<sup>21</sup> Esta es una posible razón para la utilización de este suplemento en los ejercicios de fuerza y potencia, ya que en este tipo de entrenamiento predomina el trabajo de corta duración acompañado de un alto esfuerzo, normalmente al fallo o cerca de éste.

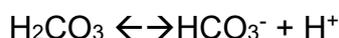
## *BICARBONATO DE SODIO*

### *Definición*

El bicarbonato de sodio, también conocido como bicarbonato sódico, de fórmula  $\text{NaHCO}_3$ , es un compuesto cristalino, sólido a temperatura ambiente que puede producirse artificialmente.<sup>22</sup>

### *Mecanismo de acción*

Los bicarbonatos tienen una función muy importante en el organismo humano ya que forman parte del sistema amortiguador para mantener el equilibrio ácido-base. El sistema bicarbonato-ácido carbónico, posee en equilibrio la siguiente reacción: <sup>22</sup>



Según este equilibrio, el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) es un donador de protones y el ión de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) es un receptor de protones. <sup>22</sup> Por ello, el bicarbonato sódico se une con los protones libres, alcalinizando el medio.

En este caso, la suplementación con bicarbonato sódico produce una elevación de la concentración de bicarbonato en sangre.<sup>22</sup> Este bicarbonato, al tratarse de una base, alcaliniza el medio exterior (la sangre), logrando un gradiente entre el medio interno de la célula y el externo. Gracias a este gradiente y mediante

presión osmótica, se logra el paso de lactato y protones desde el interior de la célula hacia el exterior con el objetivo de lograr un equilibrio electroquímico. De este modo, se mejora significativamente el reflujo de protones hacia el exterior de los miocitos, aumentando el pH intracelularmente y permitiendo un retraso en la fatiga muscular <sup>23</sup> así como un incremento en la fuerza muscular.<sup>24</sup>

## *CITRATO DE SODIO*

### *Definición*

El citrato de sodio es una sal sódica proveniente del ácido cítrico que puede encontrarse frecuentemente en el organismo. <sup>25</sup> Su reacción de formación es la siguiente:



### *Mecanismo de acción*

La constante de disociación del ácido cítrico se encuentra fuera del rango de pH normal del organismo, pero su oxidación elimina protones intracelulares en contextos de acidosis y produce bicarbonato en sangre, por lo que es un amortiguador extracelular. Es un proceso muy similar al que ocurre con el bicarbonato sódico.<sup>26</sup>

## **OBJETIVOS**

El objetivo de esta revisión sobre suplementación con amortiguadores del pH será tratar de demostrar las siguientes premisas:

- Mayor aumento de repeticiones tras la suplementación con amortiguadores.
- Mayor potencia media en los levantamientos de ejercicios de fuerza.
- Mayor carga levantada en ejercicios de fuerza.
- Disminución del pH
- Retraso de la fatiga muscular.

- Los suplementos han de ser seguros para el paciente evitando las posibles molestias gastrointestinales, la aparición de parestesia y garantizando seguridad toxicológica
- Describir recomendaciones de uso.
- Transmitir conocimiento científico a la población usuaria.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **DISEÑO**

---

Estudio transversal descriptivo y análisis crítico mediante una revisión sistemática llevada a cabo bajo las pautas de la Declaración Prisma a partir de los estudios recopilados.

### **FUENTE DE OBTENCIÓN DE DATOS**

---

Los datos se recopilaron mediante el acceso directo a Internet utilizando una gran base de datos bibliográfica especializada en ámbitos de las ciencias de la salud, siendo esta Medline (mediante el buscador Pubmed).

### **TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

---

Para la definición de los términos Mesh se utiliza el vocabulario Thesaurus, desarrollado por U.S. National Library of Medicine.

Los Mesh que se han utilizado son “resistance training”, “muscle strength” y “hypertrophy”, tanto en el resumen como en el título de los artículos. A su vez, se acompañó a cada uno de estos términos, los siguientes suplementos amortiguadores clasificados en el grupo A de la AIS: “beta-alanine”, “sodium bicarbonate” y “sodium citrate” para también lograr su localización tanto en el título como en el resumen del artículo.

## BÚSQUEDA PICO

### Suplementación con Beta-Alanina / Bicarbonato sódico para mejorar el rendimiento en deportes de fuerza y potencia.

Población (tabla 1): Pacientes practicantes de deportes de fuerza y potencia (a), pacientes que, debido a su práctica deportiva, experimentan un aumento en la fuerza muscular con el tiempo (b) y pacientes que debido a práctica deportiva logran a su vez hipertrofia muscular (c):

	Término DeCS	Término MeSH
(a)	Entrenamiento de resistencia	Resistance training
(b)	Fuerza muscular	Muscle strength
(c)	Hipertrofia	Hypertrophy

*Tabla 1: Término DeCS de la población en castellano y su asociación MeSH en inglés.*

Intervención: Se analizó el uso de tres suplementos: beta-alanina (d), bicarbonato de sodio (e) y citrato de sodio (f).

	Término DeCS	Término MeSH
(d)	Beta-alanina	Beta-alanine
(e)	Bicarbonato de sodio	Sodium bicarbonate
(f)	Citrato de sodio	Sodium citrate

*Tabla 2: Término DeCS de la intervención en castellano y su asociación MeSH en inglés.*

### Resultado:

Al ser una búsqueda muy concreta, se decide no tener en cuenta la pregunta referente a resultados en la metodología PICO, ya que, si se tuviese en cuenta, los resultados se reducen demasiado o directamente no se obtiene ninguno. Por tanto, se decide considerar únicamente la población y la intervención.

A la hora de hacer la búsqueda en la base de datos Medline mediante el buscador Pubmed, se relaciona los términos de la Tabla 1, con los términos de la Tabla 2, recogiendo de esta forma las siguientes búsquedas finales:

- A) ("beta-Alanine"[Mesh]) AND ("Resistance Training"[Mesh])
- B) ("beta-Alanine"[Mesh]) AND ("Muscle Strength"[Mesh])
- C) ("beta-Alanine"[Mesh]) AND ("Hypertrophy"[Mesh])
- D) ("Sodium Bicarbonate"[Mesh]) AND ("Resistance Training"[Mesh])
- E) ("Sodium Bicarbonate"[Mesh]) AND ("Muscle Strength"[Mesh])
- F) ("Sodium Bicarbonate"[Mesh]) AND ("Hypertrophy"[Mesh])
- G) ("Sodium Citrate"[Mesh]) AND ("Resistance Training"[Mesh])
- H) ("Sodium Citrate"[Mesh]) AND ("Muscle Strength "[Mesh])
- I) ("Sodium Citrate"[Mesh]) AND ("Hypertrophy "[Mesh])

#### SELECCIÓN FINAL DE LOS ARTÍCULOS

Para delimitar la búsqueda y así obtener los resultados más relevantes y precisos posibles, se escogieron los artículos en base a los siguientes criterios de inclusión, desde el comienzo de las publicaciones hasta abril de 2022.

Criterios de inclusión:

- Deben ser única y exclusivamente ensayos clínicos aleatorizados.
- El ensayo clínico ha de incluir resultados que tenga relación con los objetivos descritos en el presente trabajo, indistintamente de que los resultados sean positivos, negativos o indiferentes.
- El estudio debe de haberse realizado en humanos.
- Debe de estar redactado en inglés o español.
- Los estudios deben referirse exclusivamente a suplementos amortiguadores del pH.

## **RESULTADOS**

En la tabla 3 puede apreciarse toda la búsqueda consultada con la cantidad de ensayos clínicos finales seleccionados.

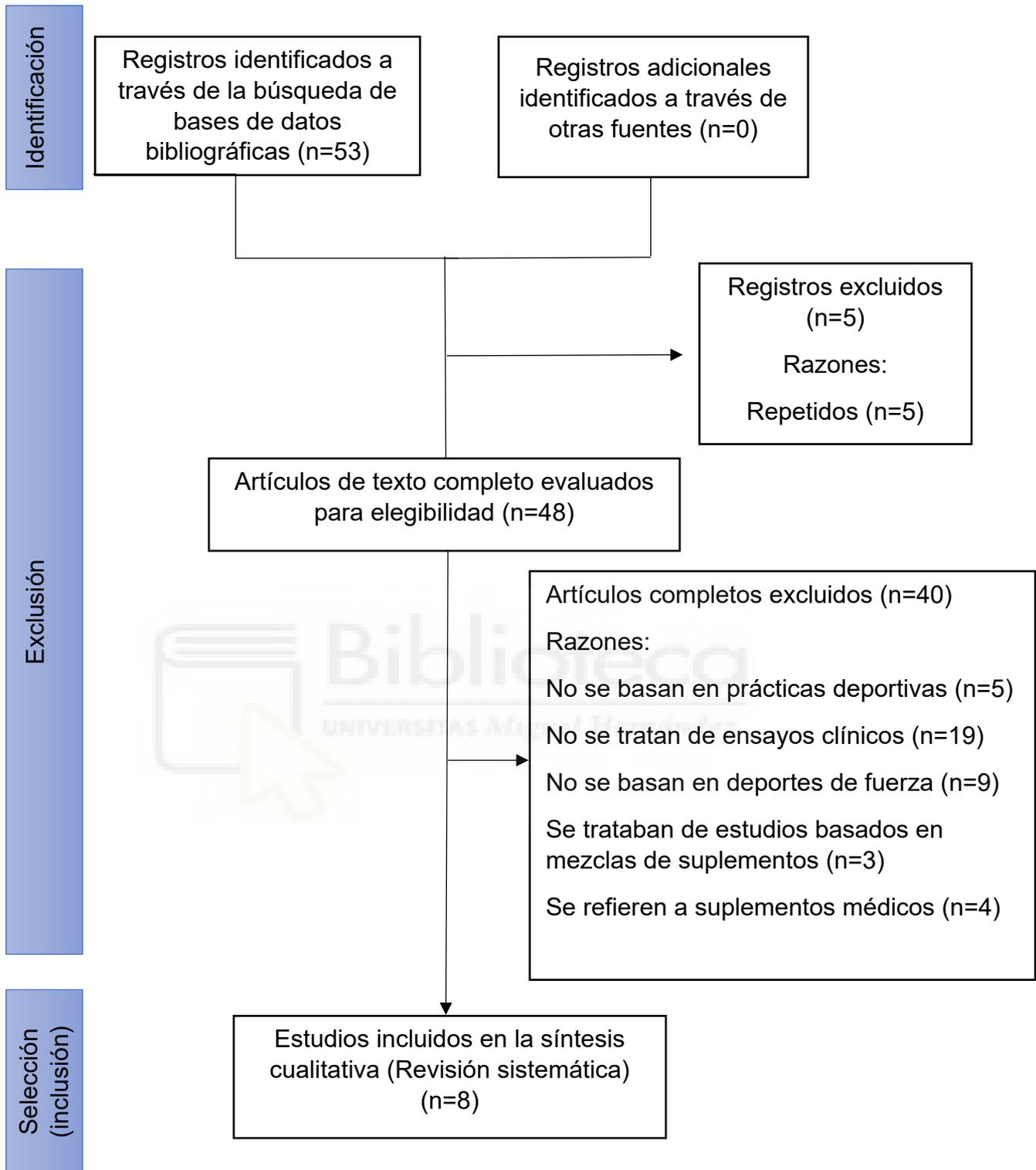
	<b>Busqueda bibliográfica</b>	<b>nº enc</b>	<b>No EC</b>	<b>No deport</b>	<b>No deport fuerza</b>	<b>Mezclas supl</b>	<b>Supl médicos</b>	<b>Rep</b>	<b>Nº sel</b>
A)	Beta-alanine + resistance training	10	1	2	1	1	1		4
B)	Beta-alanine + muscle strength	19	6	1	5	2		4	1
C)	Beta-alanine + hypertrophy	6	6						0
D)	Sodium bicarbonate + resistance training	5	2						3
E)	Sodium bicarbonate + muscle strength	11	3	1	3		3	1	0
F)	Sodium bicarbonate + hypertrophy	2	1					1	0
G)	Sodium citrate + resistance training	0							
H)	Sodium citrate + muscle strength	0							
I)	Sodium citrate + hypertrophy	0							
	<b>TOTAL</b>	<b>53</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>

*Tabla 3: Búsqueda consultada tras la combinación de la población con la intervención con el objetivo de obtener un número determinado de resultados.*

Pudieron obtenerse estudios tanto de la beta-alanina como del bicarbonato de sodio, sin embargo, no se lograron obtener resultados del citrato de sodio y su posible efecto en los entrenamientos de resistencia, la fuerza muscular o la hipertrofia. Además, no se obtuvo ningún resultado en ninguna de las búsquedas con el MeSH “hypertrophy”.

La figura 4 describe el proceso de búsqueda que se siguió y el flujo de la información por las distintas fases. La combinación de todas las bases de datos ofreció un total de 53 estudios entre los que se encontraron 6 duplicados, 19 estudios que no fueron ensayos clínicos, 5 no se basaron en actividades deportivas, 9 no trataron concretamente el entrenamiento de fuerza, 3 incluían otros suplementos además del suplemento relevante para la revisión (por lo que se tratan de mezclas) y 4 fueron suplementos centrados en el ámbito médico y no el deportivo:





**Figura 4:** Flow-chart. Proceso de búsqueda y flujo de información para la selección de los estudios finales.

Finalmente, los ensayos clínicos incluidos fueron 8 en total. De estos ensayos se hizo su posterior análisis indicado en el apartado de resultados.

De cada uno de los 8 estudios seleccionados, se extrajeron las principales variables más relevantes de cada estudio, las cuales fueron:

- Autores: Referencia del autor principal y su año de publicación. La referencia ampliada de la autoría fue detallada en la bibliografía.
- Intervención (suplemento administrado): Especificando la dosis, el número de tomas y el tiempo entre cada una.
- Duración del seguimiento: Tiempo desde que se obtiene la primera toma del suplemento hasta su última toma, o bien hasta el último día de obtención de resultados en el ejercicio.
- Participantes en la intervención: Especificando el número de individuos y el género al que pertenecen, así como el reparto en el grupo placebo y en el grupo administrado con el suplemento.
- Edad: Siendo una media aritmética de todos los sujetos analizados con la desviación estándar pertinente en número de años.
- Experiencia: Distinguiremos 3 tipos de profesionalidad para poder catalogar y diferenciar cada estudio:
  - Sin experiencia previa: Los sujetos no han tenido en el pasado ningún tipo de contacto con los deportes de fuerza y potencia.
  - Amateur: Los sujetos practican entrenamientos por hobby y/u ocio, sin llegar al punto de tener amplios conocimientos.
  - Experto: Sujetos profesionales los cuales demuestran amplios conocimientos en la materia y disponen de una amplia experiencia en los entrenamientos de fuerza y potencia.
- Protocolo de ejercicio. Tipo de entrenamiento realizado, en referencia a:
  - Grupo muscular o grupos musculares trabajados
  - La cantidad de días a la semana que se realizó entrenamiento.
  - El número de repeticiones máximas realizadas (RM). Indica la cantidad de repeticiones realizadas en una única serie del ejercicio con una técnica lo más perfecta posible.
  - En algunos casos, el tiempo de descanso realizado entre series y el porcentaje de esfuerzo realizado en cada una. Dicho porcentaje

se indica cuando el sujeto no ha logrado el fallo máximo (100%), y ha realizado un porcentaje menor.

- Resultados principales: Variables que se han registrado y datos obtenidos en los diversos ensayos relacionados con el objetivo del presente estudio.



<b>Estudio</b>	<b>Intervención</b>	<b>Dosis/ Tiempo</b>	<b>Duración</b>	<b>Participantes (Género)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Nivel</b>	<b>Protocolo de ejercicio</b>	<b>Resultados principales</b>
<b>Mirela Casonato Roveratti, (2019)<sup>27</sup></b>	Beta-alanina	4,8 g al día	4 semanas.	14 hombres. 10 mujeres.	22,1 ± 4,6	Sin experiencia previa	1 sesión a alta intensidad el último día de seguimiento. Prensa 8-12RM 75%, Extensión de cuádriceps 8-12 RM 80%.	↔ Repeticiones ↔ Potencia media
<b>Jose Luis Mate Muñoz et al. (2018)<sup>28</sup></b>	Beta-Alanina	6,4 g en 8 tomas separadas entre 1,5-3 horas.	5 semanas	26 hombres	21,8 ± 1,6	Amateur	3 ejercicios de tren inferior. 1 RM.	↑ Potencia media ↑ Mayor carga levantada. ↑ Repeticiones con la misma carga.
<b>Outlaw Jordan J et al, (2016)<sup>29</sup></b>	Beta-Alanina	3,4 g BA 4 veces por semana antes del entrenamiento.	8 semanas	16 mujeres	21,0 ± 2,2	Sin experiencia previa	Ejercicios de torso y pierna 4 veces por semana. 12 RM, 65% RM.	↑ Repeticiones.

<b>Iain Kendrick et al, (2009)</b> <sup>30</sup>	<b>P</b> Beta-Alanina	6,4 g al día divididos en 8 tomas	4 semanas	14 hombres	22,0 ± 2,8	Amateur	Entreno único del cuádriceps derecho en extensión de cuádriceps. 10 RM	<p>↑ Carnosina en todas las fibras.</p> <p>↔ Carnosina entre ambas piernas.</p> <p>↑ Carnosina en la pierna izquierda no entrenada del grupo BA que en la pierna derecha (entrenada) del grupo PLA.</p>
<b>J Hoggman et al, (2008)</b> <sup>31</sup>	Beta-Alanina	4,8 g al día	30 días	8 hombres	?	Experto	Sentadilla trasera. 90s de descanso entre series. 12RM, 70% RM.	<p>↑ Repeticiones (+22%).</p> <p>↑ Potencia media.</p> <p>↔ Testosterona.</p> <p>↔ Hormona del crecimiento.</p> <p>↔ Cortisol.</p>
<b>Jason Sieglar et al, (2018)</b> <sup>32</sup>	<b>C</b> Bicarbonato de sodio	0,3g/kg dividido en 3 dosis: 30, 60, 90	10 semanas	8 hombres	26,0 ± 5,0	Experto	Extensión de cuádriceps 2 veces a la semana.	<p>↑ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en sangre (alcalosis)</p> <p>↑ Mantenimiento de la fuerza a alta</p>

		minutos antes del entrenamiento					Día 1: Centrado en potencia. 30s descanso entre series. 30s trabajo al 40%. Día 2: Centrado en fuerza. 3-5RM, 80-90%.	potencia y baja intensidad. ↔ Cantidad de repeticiones a RM elevado. ↔ Peso levantado a RM elevado.
<b>Michael J Duncan et al, (2014)</b> <sup>33</sup>	Bicarbonato de sodio	0,3g/kg 60 minutos antes del entrenamiento	1 día	8 hombres	20 ± 0,9	Amateur	Sentadilla trasera y press de banca, 3 series de cada ejercicio. 1RM, 80%.	↑ Repeticiones en sentadilla. ↑ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en sangre (alcalosis) ↑ [HCO <sub>3</sub> ]. ↔ Repeticiones en press de banca.
<b>Benjamin M et al, (2013)</b> <sup>34</sup>	Bicarbonato de sodio	0,3g/kg	1 día	12 hombres	20,3 ± 2	Amateur	Tren inferior: Sentadillas, prensa de piernas,	↑ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en sangre (alcalosis) ↑ Lactato en sangre.

							extension de rodillas. 4 series con 90 s de Descanso. 10-12 RM	↑ Repeticiones
--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

**Tabla 4:** Descripción de los estudios seleccionados



Con respecto a los resultados obtenidos en los 6 estudios de BA, se observa que, en la mayoría de ellos hay un aumento de repeticiones y de potencia media en el grupo suplementado con beta-alanina en comparación con el grupo control. Esta mejoría es más significativa en el grupo que ingiere 6,4 gramos de beta-alanina por día<sup>28,30</sup>, aunque hay grupos que ingieren menos y también obtienen resultados positivos de forma significativa. Sin embargo, solo en uno de los estudios no se obtiene diferencias entre ambos grupos<sup>27</sup>.

El estudio realizado por Outlaw Jordan 2016<sup>29</sup> demuestra también una mejoría significativa de las repeticiones en prensa de piernas siendo la dosis de beta-alanina mucho menor (3,2 gramos). El estudio de Iain P<sup>30</sup> se centra en medir, mediante biopsias, la cantidad de carnosina en las distintas fibras en un grupo suplementado con placebo y otro con beta-alanina. Se observa que la cantidad de carnosina era significativamente superior en la pierna no entrenada del grupo suplementado con beta-alanina que en la pierna entrenada del grupo placebo. Por tanto, se corrobora que la beta-alanina es un precursor de la carnosina que es el que tiene el papel fundamental a la hora de aumentar los niveles del mencionado dipéptido, y no el entrenamiento de fuerza y potencia, como puede observarse en los resultados.

En el caso del bicarbonato de sodio, la alcalosis fue medida mediante análisis de sangre gracias a la detección de anión bicarbonato.<sup>32,33,34</sup> De los tres estudios analizados, en todos se observa una mayor alcalosis en el grupo suplementado con bicarbonato de sodio, lo que confirma el mecanismo de acción anteriormente propuesto.

Con respecto al rendimiento, en dos de los estudios analizados, sí se observa una diferencia significativa en las repeticiones alcanzadas en press de banca, sentadilla, prensa de piernas y extensión de rodilla.<sup>33,34</sup> Sin embargo, en el estudio realizado por Siegler et al<sup>32</sup> no se observa diferencias significativas en extensión de rodilla. Otros estudios demostraron un aumento del rendimiento anaeróbico hasta el fallo completo del ejercicio siempre y cuando el ejercicio durase entre 1 y 7 minutos<sup>35,36</sup>.

## **DISCUSIÓN**

### *BETA-ALANINA*

La dosis más eficaz de B-alanina, en base a los estudios seleccionados tras la búsqueda sistematizada, fue aproximadamente de 80 mg/kg/día, siendo el intervalo de 4,8-6,4g durante 5-6 semanas, lo que logró aumentar las concentraciones de carnosina en el músculo esquelético<sup>30</sup> así como su rendimiento deportivo<sup>18,27,28,30,31</sup>. Con respecto a las elevaciones de las concentraciones de carnosina intramuscular, existió una elevada variabilidad entre sujetos y de su condición física. En la mayoría de los estudios seleccionados, los deportistas tuvieron una alta aptitud física, con una masa muscular mayor que la media general de la población dada su experiencia. La beta-alanina jugó su papel en las células musculares, por lo que en sujetos con una reducida cantidad de fibras musculares y/o una alta tasa de adipocitos, la dosis recomendable para alcanzar el incremento de carnosina intramuscular podría ser ligeramente diferente.

La B-alanina tiene una alta probabilidad de presentar parestesia en el deportista en dosis mayores a 10 mg/kg, que se resuelven 1 hora después de la ingesta. Por ello, se decide limitar su dosis y distribuirla durante el día en 8 tomas.<sup>13,17</sup>

Según los ensayos clínicos seleccionados el pico máximo de carnosina intramuscular se alcanzó entre 4 y 8 semanas de suplementación. Otros estudios demuestran que no se alcanzó hasta la décima semana.<sup>13,17</sup> Un mantenimiento durante 6-20 semanas<sup>13</sup>, dependiendo del individuo, de una toma de 1,2 g por día, permitió mantener la carnosina intramuscular sobre unos valores 30-50% superiores a los convencionales<sup>15</sup>.

Se ha demostrado que la combinación de beta-alanina con proteínas y/o carbohidratos aumentó considerablemente los niveles de carnosina en el sóleo.<sup>16</sup> Este músculo es el que presenta una mayor sensibilidad a la insulina, por lo que se relaciona esta hormona con las elevaciones de carnosina muscular.<sup>16</sup>

En cuanto a la mejoría en el rendimiento deportivo, se observó que la suplementación con beta-alanina fue más efectiva en ejercicios de alta

intensidad y que presentaron intermitencias, ya que de este modo se produjo una mayor acidosis.<sup>37</sup> Las mujeres solían requerir una menor cantidad de beta-alanina para lograr un efecto significativo<sup>29</sup>. Estas participantes al poseer un peso menor que el de los hombres, para alcanzar una dosis ergogénica de 80 mg/kg de beta-alanina, necesitaron de una cantidad absoluta menor<sup>29</sup>.

Por otro lado, si los participantes no tenían experiencia previa en deportes de fuerza y potencia, no se observó diferencias significativas en cuanto al rendimiento deportivo<sup>27</sup> (ni en un aumento de la potencia media ni en un aumento del RM) frente al grupo placebo. Esto puede deberse a una falta de experiencia en la técnica de los ejercicios ya que en aquellos deportistas que tuvieron experiencia previa,<sup>28,30,31</sup> se obtuvo en su mayoría una mejoría en el rendimiento. Esta falta de experiencia en la técnica, pudo producir un sesgo que alteró los resultados<sup>27</sup>. En este sentido, aunque en los ensayos se realizó un trabajo de familiarización previo de la técnica, pudo no ser suficiente, dando lugar a un mayor error sistemático y por tanto a no observarse diferencias significativas entre ambos grupos.

A parte, en este estudio<sup>27</sup> únicamente había una sesión de entreno durante todo el seguimiento. Por otro lado, en otro de los estudios donde los individuos no tenían experiencia previa<sup>29</sup>, sí se observó diferencia significativa en el número de repeticiones en prensa de piernas tras la toma de beta-alanina.

También cabe mencionar la alta variabilidad individual entre deportistas, existiendo diferencias de repuesta a la suplementación con beta-alanina<sup>18</sup>.

En resumen, parece ser que en aquellos estudios donde hubo un entrenamiento frecuente (cada semana se realizaron un mínimo de 2 sesiones) los sujetos poseían más posibilidades de lograr un aumento en número de repeticiones o la potencia media. Esto pudo deberse a que la acidificación intracelular se produjo con más frecuencia (cada vez que se realizó una sesión de entrenamiento), logrando más veces el efecto tamponador gracias a la beta-alanina y progresando semana tras semana en cuanto a cargas y/o número de repeticiones. Por otro lado, parece que para situaciones puntuales donde se

utilizó una sola dosis de beta-alanina, no se obtuvieron resultados significativos, por lo que refuerza la idea de realizar protocolos prolongados en el tiempo.

### *BICARBONATO DE SODIO*

Los resultados de dos de los tres estudios seleccionados en este trabajo, sugieren que la dosis ideal para obtener un efecto tamponador en sangre, así como para mejorar la RM, fue de 0,3 g/kg de peso corporal debiendo ingerirse entre 90 y 120 minutos antes del entrenamiento<sup>33,34</sup>. No ocurre lo mismo en el tercer estudio<sup>32</sup>, ya que, aunque sí se observó un aumento de la alcalosis, no se hayó una mejoría en la RM. Esto pudo deberse a que el tipo de entrenamiento no fue el idóneo para lograr esta mejoría en la RM, ya que gran parte del entrenamiento consistió en trabajos a baja intensidad. Debido a ello, no se logró alcanzar el fallo y la acidosis producida no fue significativa, por lo que el bicarbonato de sodio no poseyó ningún papel relevante, hecho que sí ocurrió en los otros dos estudios seleccionados.<sup>33,34</sup>

Es importante considerar los diversos problemas gastrointestinales producidos a causa de la administración oral del bicarbonato sódico. Uno de estos es la tolerabilidad que produce, ya que su constante uso alcaliniza el pH estomacal, por lo que tras la desaparición de su efecto hay una acidificación de rebote que insta a un mayor consumo de bicarbonato de sodio.<sup>35,38</sup>

Desde el punto de vista farmacéutico, es interesante considerar la suplementación con otras formas farmacéuticas que puedan minimizar estos efectos adversos. Entre ellas podemos destacar que el uso de cápsulas gastrorresistentes, de este suplemento minimizarían los efectos secundarios. Por otro lado, pudo resultar interesante la suplementación con citrato de sodio en aquellos casos que haya individuos con una alta predisposición a padecer molestias gastrointestinales, ya que con este amortiguador se ha observado menos reacciones adversas. El problema del citrato de sodio es que actualmente no se ha demostrado su efecto beneficioso en los deportes de fuerza y potencia, ya que no hay estudios en este ámbito.

## CONTRAINDICACIONES

Una contraindicación es una situación específica en la cual no se debe utilizar un suplemento, un procedimiento o una cirugía ya que puede ser dañino para la persona.

Existen dos tipos de contraindicaciones:

La contraindicación relativa es aquella en la que se debe tener cautela cuando se utilizan dos suplementos o procedimientos juntos. Es aceptable hacerlo si los beneficios superan los riesgos.

La contraindicación absoluta significa que el evento o la sustancia podría ocasionar una situación potencialmente mortal. Un procedimiento o un suplemento que esté incluido dentro de esta categoría se debe evitar.

Existen patologías en las que se produce cierta alcalosis, pudiendo ser perjudicial en este caso la administración de amortiguadores que alcalinizan el medio y pueden agravar la sintomatología. Se producen como consecuencia de la pérdida de protones extracelulares o una ganancia de alcalinidad en el mismo. Generalmente, el riñón elimina el exceso de alcalosis para recobrar el equilibrio ácido-base. No obstante, existen patologías donde se ve limitada la excreción y por ende, no convendría su administración:<sup>39</sup>

- Vómitos: En condiciones normales, se produce una pérdida gastrointestinal de ácido clorhídrico (protones). Esta pérdida de ácido ha de equilibrarse con la pérdida de bases a nivel duodenal gracias a la secreción de bicarbonato. En el vómito, se disminuye esta secreción y, por consiguiente, aumenta la cantidad del mismo en la circulación sistémica, desarrollando alcalosis metabólica.<sup>40</sup>
- Hiperaldosteronismo primario y secundario: Se estimula la excreción de protones y la reabsorción de catión sodio en el túbulo distal.<sup>41</sup>
- Hipocalcemia: Se produce un desplazamiento de potasio intracelular al medio exterior. Para mantener el equilibrio, se produce otro

desplazamiento a la inversa de protones, lo que produce que la alcalosis empeore.<sup>42</sup>

- Pacientes con insuficiencia renal: Tienen la tasa de filtrado glomerular disminuida, por lo que hay menos excreción renal de bicarbonato.<sup>43</sup>
- Pérdidas importantes de volumen como en el uso de diuréticos o pérdidas gastrointestinales, donde disminuye el volumen extracelular sin cambios en el bicarbonato de este medio, por lo que se alcaliniza.<sup>44</sup>
- Pacientes con hipertensión arterial: El aumento de la concentración de sodio intracelular aumenta el volumen del fluido extracelular, aumentando consecuentemente la presión arterial.<sup>45</sup>

Si se presentase cualquiera de estas contraindicaciones en el deportista, se suspendería inmediatamente la suplementación, ya que el beneficio (aumento del rendimiento deportivo) no supera en ningún caso los riesgos.

Con respecto a la beta-alanina, la única reacción adversa descrita de este suplemento es la parestesia aguda, siendo totalmente inocua para el organismo. Únicamente sería desaconsejable su uso cuando el picor fuese excesivamente molesto para el deportista.<sup>13</sup>

### ELECCIÓN DEL MEJOR AMORTIGUADOR

La elección del tampón más adecuado viene dada por cada deportista, ya que se ha observado una gran variabilidad individual en cuantos a sus efectos ergogénicos y las reacciones adversas que pueda presentar, Es por ello que el Consejo Nutricional Farmacéutico juega un rol importante ya que se hace necesario adaptar los suplementos y dieta a las necesidades individuales de cada persona.

La beta-alanina, por su parte, es el tampón con mayor evidencia y eficacia en el ámbito de la fuerza y potencia hasta el momento, por lo que es de elección en el paciente deportista si no posee ningún problema relacionado con sus efectos secundarios. Si mediante una posología correcta presenta parestesia y es muy molesta, se podría utilizar otros de los dos tampones descritos, teniendo en cuenta las contraindicaciones del bicarbonato sódico y teniendo constancia de la actual falta de evidencia del citrato sódico.

Finalmente, mencionar la importante labor que pueden desempeñar los farmacéuticos en este campo, dando una atención farmacéutica profesional al deportista e incorporando este tipo de suplementos en las farmacias.

### **POSIBLES VÍAS DE INVESTIGACIÓN**

Durante los últimos años, el uso de la beta-alanina es más frecuente por parte de los deportistas, especialmente en los practicantes de deportes de fuerza y potencia. No obstante, existen muy pocos estudios sobre su utilidad en esta disciplina, por lo que sería importante más investigaciones para obtener mayor conocimiento sobre su efectividad.

Con respecto al bicarbonato de sodio, sería conveniente la búsqueda de una nueva sal de sodio que minimizara los efectos adversos del bicarbonato sódico, facilitando así la utilización por la mayoría de deportistas. Una opción podría ser el citrato de sodio, al que aún le queda mucha investigación en el ámbito deportivo.

Finalmente, podrían ser interesantes estudios donde se trate la sinergia de beta-alanina con bicarbonato de sodio, ya que actualmente no se encuentran este tipo de estudios para los deportes de fuerza y potencia.

### **CONCLUSIONES**

En la actualidad, parece existir un efecto beneficioso sobre el rendimiento de la suplementación con tamponadores en los deportes de fuerza y potencia gracias a su efecto alcalinizante extra e intracelular. No obstante, hay una variabilidad individual elevada por lo que faltan muchas investigaciones por realizar.

Debido a esta variabilidad, es recomendable desde la oficina de farmacia una correcta atención al deportista, desaconsejando su uso cuando existan contraindicaciones, o debiendo aconsejar el mejor amortiguador en función del individuo y las reacciones adversas que pueda presentar.

Finalmente, resaltar que el uso de estos suplementos a dosis incorrectas o bien el uso de origen dudoso puede ser peligroso y puede generar consecuencias negativas para la salud.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Talmadge RJ, Roy RR, Edgerton VR. Muscle fiber types and function. *Curr Opin Rheumatol* [Internet]. 1993 [cited 2022 May 22];5(6):695–705. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8117530/>
2. De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. Metabolic response to exercise. *J Endocrinol Investig* 2003 269 [Internet]. 2014 Mar 18 [cited 2022 May 22];26(9):851–4. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03345235>
3. Craig BW, Everhart J, Brown R. The influence of high-resistance training on glucose tolerance in young and elderly subjects. *Mech Ageing Dev* [Internet]. 1989 [cited 2022 May 22];49(2):147–57. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2677535/>
4. Koffler KH, Menkes A, Redmond RA, Whitehead WE, Pratley RE, Hurley B. Strength training accelerates gastrointestinal transit in middle-aged and older men. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 1992 Apr 1 [cited 2022 May 22];24(4):415–9. Available from: <https://europepmc.org/article/med/1560736>
5. Schroeder EC, Franke WD, Sharp RL, Lee D chul. Comparative effectiveness of aerobic, resistance, and combined training on cardiovascular disease risk factors: A randomized controlled trial. *PLoS One* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2022 May 22];14(1):e0210292. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0210292>
6. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* [Internet]. 2004 [cited 2022 May 22];34(10):663–

79. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15335243/>
7. Schiaffino S. Fibre types in skeletal muscle: A personal account. *Acta Physiol.* 2010;199(4):451–63.
  8. Gustin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Vol. 31, *Sports Medicine.* 2001.
  9. Supplements | Australian Institute of Sport [Internet]. [cited 2022 Jul 3]. Available from: <https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements>
  10. 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 May 25;262(15):7232–7.
  11. Artioli GG, Gualano B, Smith A, Stout J, Lancha AH. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2010 Jun [cited 2022 May 22];42(6):1162–73. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20479615/>
  12. Sale C, Saunders B, Harris RC. Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* [Internet]. 2010 Jul [cited 2022 May 22];39(2):321–33. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20091069/>
  13. Bellinger PM.  $\beta$ -Alanine supplementation for athletic performance: an update. *J strength Cond Res* [Internet]. 2014 [cited 2022 May 22];28(6):1751–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24276304/>
  14. Bex T, Chung W, Baguet A, Achten E, Derave W. Exercise Training and Beta-Alanine-Induced Muscle Carnosine Loading. *Front Nutr.* 2015 May 7;2:13.
  15. Stegen S, Bex T, Vervaet C, Vanhee L, Achten E, Derave W.  $\beta$ -Alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2014 [cited 2022 May 22];46(7):1426–32.

Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24389513/>

16. Stegen S, Blancquaert L, Everaert I, Bex T, Taes Y, Calders P, et al. Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2013 Aug [cited 2022 May 22];45(8):1478–85. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23439427/>
17. Blancquaert L, Everaert I, Derave W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* [Internet]. 2015 Jan 12 [cited 2022 May 22];18(1):63–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25474013/>
18. Baguet A, Koppo K, Pottier A, Derave W. Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2010 Feb [cited 2022 May 22];108(3):495–503. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19841932/>
19. Messonnier L, Kristensen M, Juel C, Denis C. Importance of pH regulation and lactate/H<sup>+</sup> transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol* [Internet]. 2007 [cited 2022 May 22];102(5):1936–44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17289910/>
20. Smith AE, Walter AA, Graef JL, Kendall KL, Moon JR, Lockwood CM, et al. Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2009 Feb 11 [cited 2022 May 22];6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19210788/>
21. 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* [Internet]. 2006 May [cited 2022 May 22];30(3):279–89. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16554972/>
22. Muñoz L, Gómez LF, Alzate JP, Mateus A, Sierra JF, García OD. ¿Existe

- evidencia para utilizar el bicarbonato de sodio en la acidosis metabólica? Revisión sistemática. *Acta Colomb Cuid Intensivo*. 2021 Jan 1;21(1):51–65.
23. Bishop D, Claudius B. Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2005 May [cited 2022 May 22];37(5):759–67. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15870629/>
  24. Van Montfoort MCE, Van Dieren L, Hopkins WG, Shearman JP. Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2004 Jul [cited 2022 May 22];36(7):1239–43. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15235332/>
  25. Trisodium citrate dihydrate | C6H9Na3O9 - PubChem [Internet]. [cited 2022 May 22]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Trisodium-citrate-dihydrate>
  26. Oster JR, Stemmer CL, Perez GO, Vaamonde CA. Comparison of the effects of sodium bicarbonate versus sodium citrate on renal acid excretion. *Miner Electrolyte Metab* [Internet]. 1988 Jan 1 [cited 2022 May 22];14(2–3):97–102. Available from: <https://europepmc.org/article/med/2837630>
  27. Roveratti MC, Jacinto JL, Oliveira DB, da Silva RA, Andraus RAC, de Oliveira EP, et al. Effects of beta-alanine supplementation on muscle function during recovery from resistance exercise in young adults. *Amino Acids* [Internet]. 2019 Apr 1 [cited 2022 May 22];51(4):589–97. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30627787/>
  28. Maté-Muñoz JL, Lougedo JH, Garnacho-Castaño M V., Veiga-Herreros P, Lozano-Estevan M del C, García-Fernández P, et al. Effects of  $\beta$ -alanine supplementation during a 5-week strength training program: a randomized, controlled study. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2018 [cited 2022 May 22];15(1). Available from: [/pmc/articles/PMC5918575/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30627787/)

29. Outlaw JJ, Smith-Ryan AE, Buckley AL, Urbina SL, Hayward S, Wingfield HL, et al. Effects of  $\beta$ -Alanine on Body Composition and Performance Measures in Collegiate Women. *J strength Cond Res* [Internet]. 2016 Sep 1 [cited 2022 May 22];30(9):2627–37. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25486294/>
30. Kendrick IP, Kim HJ, Harris RC, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effect of 4 weeks beta-alanine supplementation and isokinetic training on carnosine concentrations in type I and II human skeletal muscle fibres. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2009 [cited 2022 May 22];106(1):131–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19214556/>
31. Hoffman J, Ratamess NA, Ross R, Kang J, Magreli J, Neese K, et al. Beta-alanine and the hormonal response to exercise. *Int J Sports Med* [Internet]. 2008 Dec [cited 2022 May 22];29(12):952–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18548362/>
32. Siegler JC, Marshall PWM, Finn H, Cross R, Mudie K. Acute attenuation of fatigue after sodium bicarbonate supplementation does not manifest into greater training adaptations after 10-weeks of resistance training exercise. *PLoS One* [Internet]. 2018 May 1 [cited 2022 May 22];13(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29718968/>
33. Duncan MJ, Weldon A, Price MJ. The effect of sodium bicarbonate ingestion on back squat and bench press exercise to failure. *J Strength Cond Res*. 2014;28(5):1358–66.
34. Carr BM, Webster MJ, Boyd JC, Hudson GM, Scheett TP. Sodium bicarbonate supplementation improves hypertrophy-type resistance exercise performance. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2013 Mar 1 [cited 2022 May 22];113(3):743–52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22941193/>
35. Requena B, Zabala M, Padial P, Feriche B. Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? *J Strength Cond Res*. 2005 Feb;19(1):213–24.

36. De Medicina A, Deporte D, Alonso J. 312 A M D Ayudas ergogénicas. Sustancias que pueden mejorar el rendimiento deportivo. [cited 2022 May 22]; Available from: [www.libreriacortina.it](http://www.libreriacortina.it)
37. De Salles Painelli V, Saunders B, Sale C, Harris RC, Solis MY, Roschel H, et al. Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to  $\beta$ -alanine supplementation. *Amino Acids* [Internet]. 2014 [cited 2022 May 22];46(5):1207–15. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24500111/>
38. Linderman J, Fahey TD. Sodium bicarbonate ingestion and exercise performance. An update. *Sports Med* [Internet]. 1991 [cited 2022 May 22];11(2):71–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1850166/>
39. Fredy J, Ríos N, Bello Márquez DC. ALCALOSIS METABÓLICA Memorias XIX Curso de Actualización en. 2019;
40. Alexander Martínez Rodríguez D, Olimpo /, Espinosa JO. Alcalosis metabólica hipoclorémica o alcalosis de iones fuertes: una revisión. *Rev Med Vet (Bogota)* [Internet]. 2016 Jun 14 [cited 2022 May 22];(32):131–41. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-93542016000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542016000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
41. Villalta AIA, Rodríguez DJCG, Sáenz DJGL. Hipoaldosteronismo hiporreninémico: una revisión bibliográfica. *Rev la Fac Med la Univ Iberoamérica* [Internet]. 2021 Oct 26 [cited 2022 May 22];3(2). Available from: <http://www.unibe.ac.cr/ojs/index.php/RFMUI/article/view/63>
42. Boulanger H, Ahriz Saksi S, Chhuy F, Flamant M. Hipocalcemia. *EMC - Tratado Med.* 2014 Jun 1;18(2):1–7.
43. Kurtzman NA. Regulation of renal bicarbonate reabsorption by extracellular volume. *J Clin Invest* [Internet]. 1970 [cited 2022 May 22];49(3):586. Available from: [/pmc/articles/PMC322507/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/131111/)
44. Carrillo Esper R, Raúl J, Córdova C, Daniel L. Modelo fisicoquímico del

equilibrio ácido-base. Conceptos actuales (3ª de tres partes). Rev Fac Med UNAM [Internet]. 2008 [cited 2022 May 22];51. Available from: [www.medigraphic.com](http://www.medigraphic.com)

45. Luft FC, Zemel MB, Sowers JA, Fine Berg NS, Weinberger MH. Sodium bicarbonate and sodium chloride: Effects on blood pressure and electrolyte homeostasis in normal and hypertensive man. *J Hypertens.* 1990;8(7).

