



# VNiVERSiDAD D SALAMANCA

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

**GRADO EN ENFERMERÍA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Tipo de Trabajo:

Trabajo de revisión bibliográfica sistemática

**Complementos nutricionales y ejercicio físico: papel de la  
L-arginina como ayuda ergogénica en el rendimiento  
deportivo.**

Jorge Sanguino Peña

Tutor: Susana González Manzano

Salamanca, mayo de 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi tutora, Susana González, por orientarme en el desarrollo de todo el trabajo.*

*A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional a lo largo de los cuatro años.*

*A Yolanda, por apoyarme en todos los momentos difíciles y hacer que disfrutemos  
juntos de la profesión que hemos elegido.*

## ÍNDICE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	5
RESÚMEN Y PALABRAS CLAVE.....	6
ABSTRACT AND KEY WORDS.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 MARCO TEÓRICO.....	8
1.3 HIDRATOS DE CARBONO.....	9
1.5 PROTEÍNAS.....	11
1.6 SUPLEMENTACIÓN DEPORTIVA.....	11
1.7 AYUDAS ERGOGÉNICAS NUTRICIONALES.....	12
1.8 L-ARGININA.....	12
1.9 POTENCIAL ERGOGÉNICO DEL ÓXIDO NÍTRICO .....	14
1.10 MEDICIÓN DE LAS CAPACIDADES FÍSICAS EN LOS ENSAYOS CLÍNICOS .....	15
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	16
□ CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	16
□ CRITERIOS DE EXCLUSIÓN .....	16
3.1 SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	16
4. SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	18
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS.....	18
4.2 COMPUESTOS CON LOS QUE SE LLEVA A CABO LA INTERVENCIÓN: L-ARGININA.....	23
4.2.1 Análisis de resultados tras la ingesta de L-Arginina de manera aguda y crónica en individuos no entrenados.....	24

4.2.2 Análisis de resultados tras la ingesta de L-Arginina de manera aguda y crónica en individuos entrenados.....	26
4.3 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS QUE ADMINISTRAN OTROS COMPONENTES JUNTO CON L-ARGININA.....	28
4.4 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS EN LOS QUE SE ADMINISTRA L-CITRULINA. ....	28
4.5 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS EN LOS QUE SE ADMINISTRA OTROS COMPUESTOS DERIVADOS DE LA L-ARGININA. ....	29
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	30
6. BIBLIOGRAFÍA .....	33

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**AAKG:** Arginina Alfa-Cetoglutarato.

**ARG:** L-Arginina.

**ATP:** Adenosín Trifosfato.

**BCAA:** (Branched-Chain Amino Acids) o aminoácidos de cadena ramificada.

**CIT:** L-Citrulina.

**DeCS:** Descriptores en Ciencias de la Salud.

**FC:** Frecuencia cardíaca.

**GACIK:** Acido Glicina-Arginina- $\alpha$ -Cetoisocaproico.

**IMC:** Índice de masa corporal.

**NO:** Óxido nítrico

**PAM:** Presión arterial media.

**PA/TA:** Presión arterial/Tensión arterial.

**PLC:** Placebo

**VO2MAX:** Volumen de oxígeno máximo que puede procesar el organismo durante el ejercicio.

**1-RM:** Repetición máxima

## RESÚMEN Y PALABRAS CLAVE

La nutrición y el rendimiento deportivo están estrechamente relacionados. Gracias a los avances que han aparecido, los atletas pueden optar por ingerir suplementos que mejoren sus capacidades. Se considera ayuda ergogénica nutricional a aquellos componentes de los alimentos que mejoren el uso de la energía en el organismo. Un ejemplo es la L-arginina, aminoácido que participa en múltiples procesos metabólicos. Es precursora del óxido nítrico, participa en la síntesis proteica y en la eliminación de lactato y amonio. Por sus características, se estudia como potencial ayuda ergogénica nutricional.

El **objetivo** de esta revisión es conocer cómo influye la suplementación con L-arginina en el rendimiento físico, tanto en atletas como en población no entrenada. Además, se pretende valorar su efectividad en función de con qué frecuencia se administre, dosis y para qué tipo de deporte (fuerza o resistencia) sea utilizada.

En la **metodología**, se ha realizado una revisión sistemática bibliográfica en dos de las principales bases de datos: PubMed y Web of Science, seleccionando solo ensayos clínicos aleatorizados controlados, entre 2004 y 2022.

En los **resultados y conclusiones**, se muestra el efecto positivo de la L-arginina en suplementación crónica (más de una semana) en individuos no entrenados en resistencia, mientras que la suplementación aguda en este grupo no es efectiva. En atletas entrenados en resistencia no se considera efectiva, pues alcanzan las concentraciones de óxido nítrico normalmente. La administración de L-citrulina (precursora de L-Arginina) de forma crónica mejora el rendimiento en atletas de resistencia.

**PALABRAS CLAVE:** L-arginina, óxido nítrico, ayuda ergogénica, suplementación, rendimiento deportivo, nutrición.

## ABSTRACT AND KEY WORDS

Nutrition and sports performance are closely related. Due to the new innovations that have recently appeared, athletes have the option of taking supplements that improve their physical abilities. A food component is considered a nutritional ergogenic aid when it causes a change that improves the use of energy in the body. L-arginine is an amino acid which is the precursor of nitric oxide. It participates in protein synthesis and in the elimination of lactate and ammonia. It has been studied as a potential ergogenic aid.

The **purpose** of this review is led to know how supplementation with L-arginine influences physical performance, in athletes and in untrained population. Besides, it is pretended to prove its effectiveness depending on how often it is administered and for which kind of sport (strength or resistance) it is used.

The **methodology** consists of a systematic bibliographic review has been carried out in two of the main databases: PubMed and Web of Science, selecting exclusively controlled randomized clinical trials, between 2004 and 2022.

In the **results and conclusions**, the positive effect of L-arginine in chronic supplementation (more than one week) in non-resistance trained individuals is shown, while acute supplementation in this group is not effective (at least in the amounts studied). In resistance-trained athletes it is not considered effective, as they reach nitric oxide concentrations normally. Chronic administration of L-citrulline (L-Arginine precursor) improves performance in endurance athletes.

**KEY WORDS:** L-arginine, nitric oxide, ergogenic aid, supplementation, sports performance, nutrition.

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de toda la historia, los atletas siempre han sido aconsejados sobre qué comer para aumentar el rendimiento físico. La nutrición deportiva es un proceso constante de cambio, debido a la aparición de nuevos avances biotecnológicos y nuevas evidencias. Los principales determinantes del estado de salud de los deportistas son: la alimentación y el ejercicio físico. Por ello, debe existir un equilibrio fisiológico entre ambos que nos permita mejorar las capacidades físicas. Un manejo inadecuado de los macronutrientes podría hacer más difícil alcanzar los objetivos e incluso ser perjudicial. El profesional de enfermería tiene un papel imprescindible en la educación para la salud, la detección de problemas de salud a causa de malos hábitos y la disminución de las complicaciones (1).

### 1.2 MARCO TEÓRICO

La alimentación debe cumplir las necesidades energéticas básicas de los deportistas. Deben mantener un peso corporal adecuado para asegurar el rendimiento. Los principales nutrientes de nuestra dieta son hidratos de carbono, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales. Además, es imprescindible una adecuada hidratación, especialmente si nos referimos a la práctica deportiva. Algunas de las variables que influyen en las necesidades energéticas básicas son (2):

- Tipo de actividad física e intensidad
- Duración
- Edad, sexo y composición corporal
- Temperatura ambiente
- Grado de entrenamiento y disciplina deportiva en la que participa.

Estas variables nos permiten establecer unas recomendaciones generales para los deportistas. Las distintas recomendaciones en ingesta y ejercicio provocan adaptaciones muy diversas en todos los sistemas del cuerpo humano. Estas recomendaciones van destinadas a la prevención de lesiones, a facilitar de la recuperación y a mejorar los hábitos de los deportistas (3).



### 1.3 HIDRATOS DE CARBONO

Son la principal fuente de energía en el mundo (4) y se consideran imprescindibles a la hora de asegurar el rendimiento en ejercicios de larga duración, junto con una adecuada hidratación. Deben aportar entre el 40-60% de toda la energía que aporta la dieta (5). Dan lugar a 4kcal por gramo de hidratos de carbono ingerido, y son de elección para la práctica deportiva porque producen ATP hasta tres veces más rápido que las grasas. La ingesta dietética de referencia es 130 g/día para personas adultas. Sin embargo, en deportistas esta ingesta recomendada aumenta hasta alcanzar un 55-60% de las necesidades energéticas diarias. Los hidratos se consideran limitantes en la práctica deportiva (especialmente en ejercicios que duren más de una hora), pues sus reservas energéticas en hígado y músculo esquelético son limitadas. El glucógeno muscular puede llegar a agotarse, por lo que existen mecanismos de compensación: el hígado puede sintetizar glucógeno en cantidades suficientes, a partir de aminoácidos y glicerol, en un proceso conocido como gluconeogénesis (4). El mayor determinante de la síntesis de glucógeno tras el ejercicio es su propia ingesta.

- En ejercicios de resistencia (varios meses seguidos), se producen una serie de mejoras: pueden llegar a duplicarse los depósitos de glucógeno, aumenta la utilización de grasa durante el ejercicio (disminuyendo la de hidratos de carbono) e incrementa la capacidad del organismo para trabajar con mayor porcentaje de oxígeno ( $VO_2$  máx.), retrasando la aparición de fatiga (5).

El  $VO_2$  máx. o capacidad aeróbica, es el volumen máximo de oxígeno que podemos absorber del aire inspirado, en un tiempo determinado, y que podrá ser transportado hacia los músculos por la sangre (6). Está relacionada directamente con la capacidad cardiovascular, aunque no siempre en la misma proporción. Su importancia reside en que se puede mejorar, por lo que un  $VO_2$  máx. alto, produce una mejor oxigenación, retrasando la aparición de fatiga (4). Se calcula en función de la masa corporal, el tiempo transcurrido y el volumen de oxígeno inhalado, gracias a la ayuda de un ergoespirómetro.

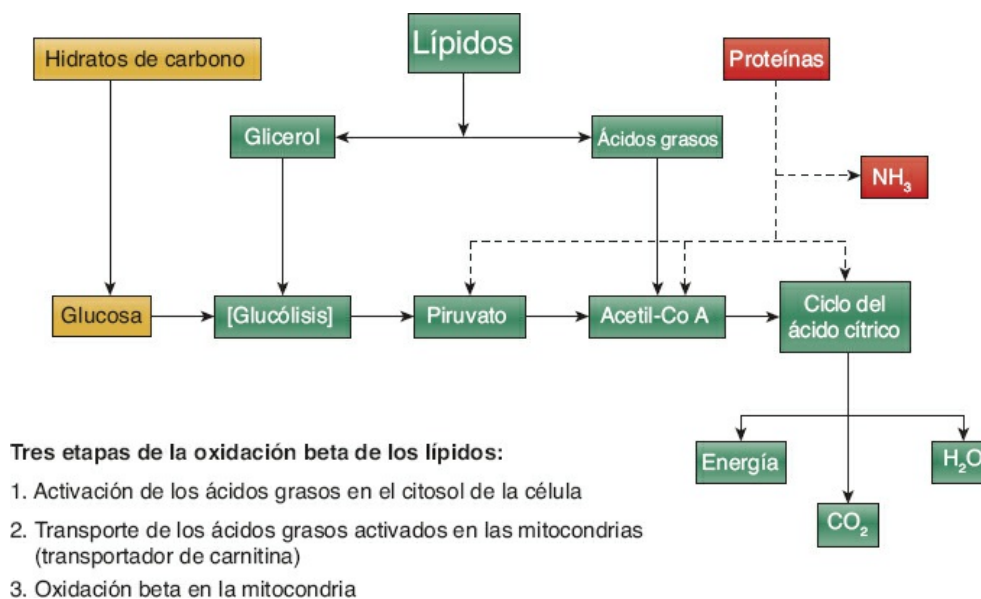
- En ejercicios de fuerza no está tan claro el papel de los hidratos de carbono. En ejercicios mayores a 120 segundos, el gasto energético es menor a la práctica aeróbica de resistencia, por lo que una dieta rica en este macronutriente no siempre se consideraría mejor.

## 1.4 LÍPIDOS

El ejercicio de regular a moderada intensidad y duración moderada-larga favorece el catabolismo de lípidos. Esto se debe a que aumenta la sensibilidad de los adipocitos a la movilización por ejercicio (3). Este ejercicio de resistencia disminuye parcialmente la grasa subcutánea y aumenta la intramuscular.

La degradación de ácidos grasos, solo se puede hacer en presencia de oxígeno. El catabolismo lipídico produce el doble de ATP que la degradación de hidratos de carbono y proteínas. En concreto, los lípidos que más comúnmente ingerimos en la dieta son los triglicéridos. Se consideran de alto valor energético, pues aportan alrededor de 9,3kcal por gramo de lípidos. La ingesta recomendada para adultos está entre el 20 y 35% del total de energía que aporta la dieta, considerándose más saludable si ingerimos mayor cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados.

Para obtener energía de los ácidos grasos, tiene lugar la hidrólisis (separación de la molécula gracias a una enzima lipasa), como se muestra en la figura 1 (5). A grandes rasgos, los productos resultantes son: el glicerol y ácidos grasos. El primero puede pasar a las rutas metabólicas de los hidratos de carbono (glucólisis o gluconeogénesis), y los ácidos grasos pueden ser transportados por proteínas donde se requieran o almacenarse. La oxidación completa se produce mediante la Beta-oxidación de los ácidos grasos, para formar acetil-coenzima A que pasará al Ciclo del Ácido cítrico.



**Figura 1.** Diagrama de la oxidación de los ácidos grasos.

## **1.5 PROTEÍNAS**

Las proteínas que debemos ingerir son las de alto valor biológico, es decir, aquella que presenta los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas, para poder formar proteínas. Su ingesta de referencia varía en función del sexo, edad, fase de crecimiento de la persona y grado y tipo de actividad que realiza. Generalmente es recomendable ingerir de 10-35% de proteínas respecto a la ingesta energética diaria (5). En deportistas de resistencia, se recomiendan de 1.2-1.4 g de proteínas/kg de peso al día y para las personas entrenadas en fuerza la recomendación es de 1.6-1.7 g de proteínas/kg de peso al día. La diferencia se justifica en una mayor utilización de masa magra y mayor degradación en los ejercicios de fuerza.

La ingesta de proteínas como suplemento a una dieta equilibrada ha resultado beneficiosa. Mejora la captación de los nutrientes por las células y facilita la regulación de procesos metabólicos. En concreto, la ingesta de aminoácidos esenciales ha demostrado ser efectiva para aumentar la síntesis muscular. Esto abre un amplio terreno a la experimentación.

## **1.6 SUPLEMENTACIÓN DEPORTIVA**

La suplementación deportiva consiste en la ingesta de componentes alimenticios, con el fin de encontrar un incremento en el rendimiento deportivo. Por ejemplo, en personas que no alcancen con su dieta habitual las necesidades nutricionales de algún componente concreto, pueden tomarlo de manera externa. Hay que dejar claro que la suplementación no debe sustituir en ningún momento una dieta equilibrada, que cubra las necesidades energéticas del atleta, y que la suplementación debe de ser guiada por un equipo multidisciplinar que cuente con los conocimientos necesarios. Numerosos estudios han probado la eficacia de los aminoácidos como ayuda ergogénica (7). Ensayos clínicos con BCAA (compuesto formado por leucina, valina e isoleucina, aminoácidos esenciales) reduce el daño que sufren las fibras musculares en deportes de elevada intensidad y disminuye la fatiga. Se recomiendan dosis de 10-15g al día. Otro ejemplo es el uso de creatina, que aporta beneficios en ejercicios de fuerza y velocidad, sobre todo si son de alta intensidad y corta duración. Es capaz de aumentar la masa muscular y se debe ingerir entre 15 o 30 minutos antes del entrenamiento, en dosis de 2-5g al día. Por otra parte, se están llevando a cabo varios estudios en otros aminoácidos como la L-arginina, L-citrulina y su papel en la síntesis de óxido nítrico.

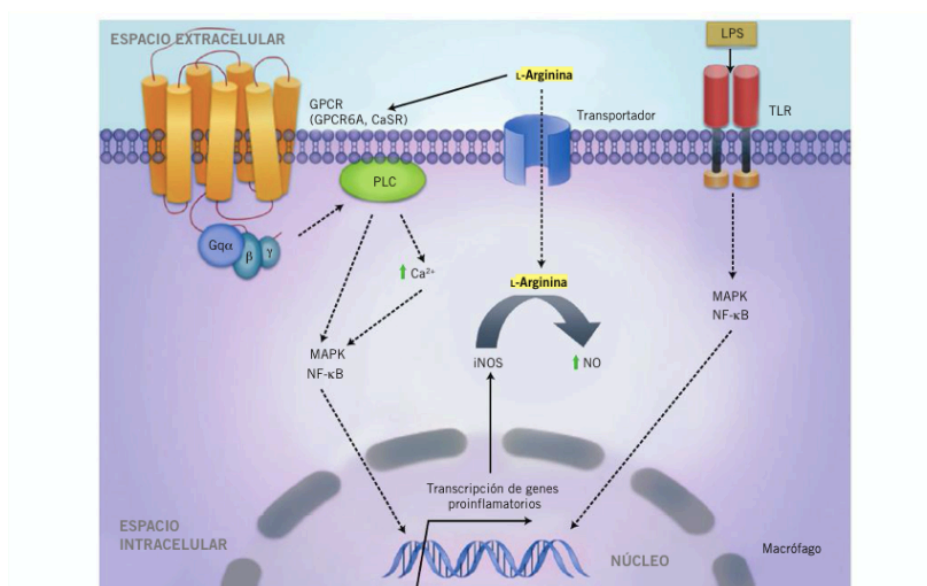
## 1.7 AYUDAS ERGOGÉNICAS NUTRICIONALES

Tal y como hemos mencionado anteriormente, la nutrición y la actividad física están muy correlacionadas. Para complementar ambos determinantes, surgen las ayudas ergogénicas. Fundamentalmente, las ayudas ergogénicas se definen como cualquier recurso que mejore la utilización de energía en el organismo (8). En concreto, las ayudas ergogénicas nutricionales están actualmente en desarrollo ascendente. Posiblemente sea consecuencia de las altas expectativas que hay sobre los atletas y la necesidad de mejora continua. Su naturaleza, funciones fisiológicas y características pueden llegar a ser muy distintas, en función del modo en el que actúen y qué quieran mejorar. Además, la intervención enfermera que se aplique a la hora de administrar, diferenciando dosis y frecuencia de suplementación, puede llegar a modificar el resultado. Por ejemplo, no será lo mismo ingerir 2g de BCAA en una sola dosis, que tomar 30ml de una bebida energética a base de vitaminas y minerales, cada día antes del entrenamiento. Aunque actualmente hay un gran número de suplementos nutricionales que se usan como ayuda ergogénica, tan solo algunos han demostrado científicamente su eficacia. Además, no todas las ayudas ergogénicas tienen beneficio en el organismo, es más, muchas cuentan con efectos secundarios importantes. Para valorar la eficacia de las ayudas ergogénicas se han realizado multitud de ensayos clínicos. En esta revisión bibliográfica nos centraremos en la suplementación de la L-arginina y su papel en la síntesis de óxido nítrico (NO) y su posible efectividad para mejorar el rendimiento físico.

## 1.8 L-ARGININA

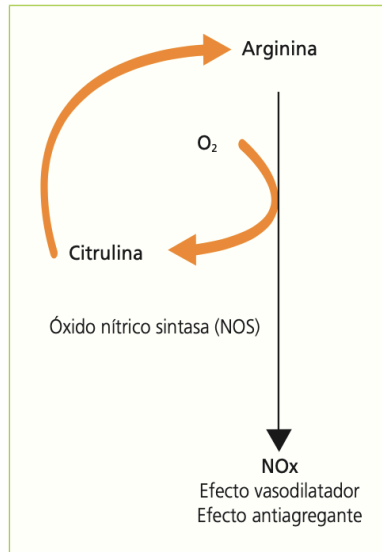
La L-arginina es un aminoácido esencial en los niños, por lo que es fundamental que lo adquieran mediante la alimentación. En los adultos no se considera esencial, pues tienen capacidad para su síntesis. La L-arginina se encuentra de forma natural en pescados, carnes rojas, aves y lácteos. Interviene en la síntesis proteica y facilita la eliminación de amonio y lactato en sangre (4). Además, se considera importante por ser precursora del óxido nítrico (8), compuesto que tiene propiedades de vasodilatación y broncodilatación. Por esto, existe la posibilidad de que aumente el flujo de sangre en los músculos y que esto mejore el rendimiento deportivo. La L-arginina se sintetiza a partir de la L-citrulina (3), aminoácido no esencial que podría incluso aportar una mayor biodisponibilidad de L-arginina que su propia ingesta.

A nivel celular, se ha comprobado que la síntesis de L-arginina por los macrófagos está regulada por su presencia en el espacio extracelular (3). Durante la inflamación, los macrófagos activan una serie de reacciones en cascada, que tienen como resultado la síntesis de NO por la óxido nítrico sintasa. Esto promueve la reparación tisular. En la figura 2, se muestra un complejo dibujo del mecanismo de acción de la L-arginina. En seres humanos, aumenta la proliferación de linfocitos y facilita la curación de heridas, utilizándose en intervenciones quirúrgicas. En situaciones de desnutrición, podría ser necesario el aporte externo de L-arginina.



**Figura 2.** Mecanismo de acción de la L-arginina para la síntesis de óxido nítrico iNOS: óxido nítrico sintasa. (3)

Por su parte, la L-citrulina es un aminoácido no esencial que se sintetiza en el metabolismo de la L-arginina, como se muestra esquemáticamente en la figura 3. Se considera importante para la suplementación, por la capacidad de aumentar la biodisponibilidad de L-arginina y óxido nítrico. Por este motivo, interviene también en los mecanismos de la L-arginina, mencionados anteriormente. Además, los ensayos clínicos afirman que ejercen un efecto subjetivo muy positivo en personas patológicas



**Figura 3.** Producción de óxido nítrico y L-citrulina a partir de L-arginina y oxígeno (8).

### 1.9 POTENCIAL ERGOGÉNICO DEL ÓXIDO NÍTRICO

Siendo el NO un metabolito de la L-arginina, el principal efecto esperado con la suplementación es la relajación del músculo liso y la mediación de la respuesta inflamatoria (9). Participa en numerosas reacciones a nivel celular (como la respuesta inmune), pero para ser considerado ayuda ergogénica, se debe comprobar su efectividad.

Para llevar a cabo la vasodilatación, el NO activa la enzima guanil ciclasa, para provocar un cambio a nivel molecular que disminuya la concentración de calcio intracelular. En el sistema nervioso central, puede asegurar el flujo sanguíneo contrarrestando la vasoconstricción del endotelio vascular. En situaciones de isquemia se incrementa su síntesis para asegurar la irrigación (9). Las mismas funciones lleva a cabo en el sistema renal, donde mantiene la tasa de filtración del glomérulo en niveles aceptables durante el ejercicio. Por estos motivos, se considera potencialmente útil en deportistas y será estudiado como ayuda ergogénica nutricional. Con el fin de valorar la potencia ergogénica de la L-arginina y L-citrulina, se realiza la siguiente búsqueda bibliográfica.

## **1.10 MEDICIÓN DE LAS CAPACIDADES FÍSICAS EN LOS ENSAYOS CLÍNICOS**

En los ensayos clínicos, para determinar la efectividad de distintos compuestos como ayudas ergogénicas, tienen en cuenta diferentes variables de resultados, entre ellas están las siguientes pruebas de valoración física y bioquímica.

- Evaluación del patrón ventilatorio mediante el VO<sub>2</sub> máx.
- Prueba aeróbica de Wingate: (10): somete al deportista a un esfuerzo máximo en un período corto de tiempo (30 segundos). Se pretende que coincida la máxima potencia obtenida en la prueba, con la capacidad física máxima de la persona, sin que se llegue a liberar ácido láctico, es decir, sin que comience el metabolismo anaerobio
- 1-RM: consiste en comprobar cuanto volumen puede levantar de una sola vez, un atleta entrenado en ejercicios de fuerza, al 75% de su capacidad máxima (11).
- Presencia de lactato y amonio en sangre
- Flujo de sangre en la arteria femoral
- Glucosa en plasma

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

- Determinar la eficacia de la L-arginina como ayuda ergogénica en el rendimiento deportivo

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir el efecto de la suplementación con L-arginina en población entrenada y no entrenada.
- Comparar la efectividad de la ingesta aguda y crónica de L-arginina.
- Conocer el impacto de la suplementación de L-arginina en ejercicios de fuerza y resistencia.

### **3. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS**

La presente revisión bibliográfica sistemática, ha sido elaborada tras realizar una búsqueda en dos de las principales bases de datos: PubMed y Web of Science.

La búsqueda se ha realizado en inglés, entre los meses de febrero y abril de 2022, utilizando las palabras clave: “ergogenic” y “arginine”. A estas palabras clave les corresponden los descriptores (DeCS): “ergogenic”- Sustancias para Mejorar el Rendimiento y “arginine”-Arginina. Como punto de unión entre ambas palabras, he utilizado el operador booleano “AND”.

Sólo se han seleccionado ensayos clínicos aleatorizados controlados, publicados entre 2004 y 2022, por lo que el nivel de evidencia de los estudios se considera Nivel I.

- **CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Publicados desde 2004 hasta 2022.
- Ensayos clínicos aleatorizados controlados.

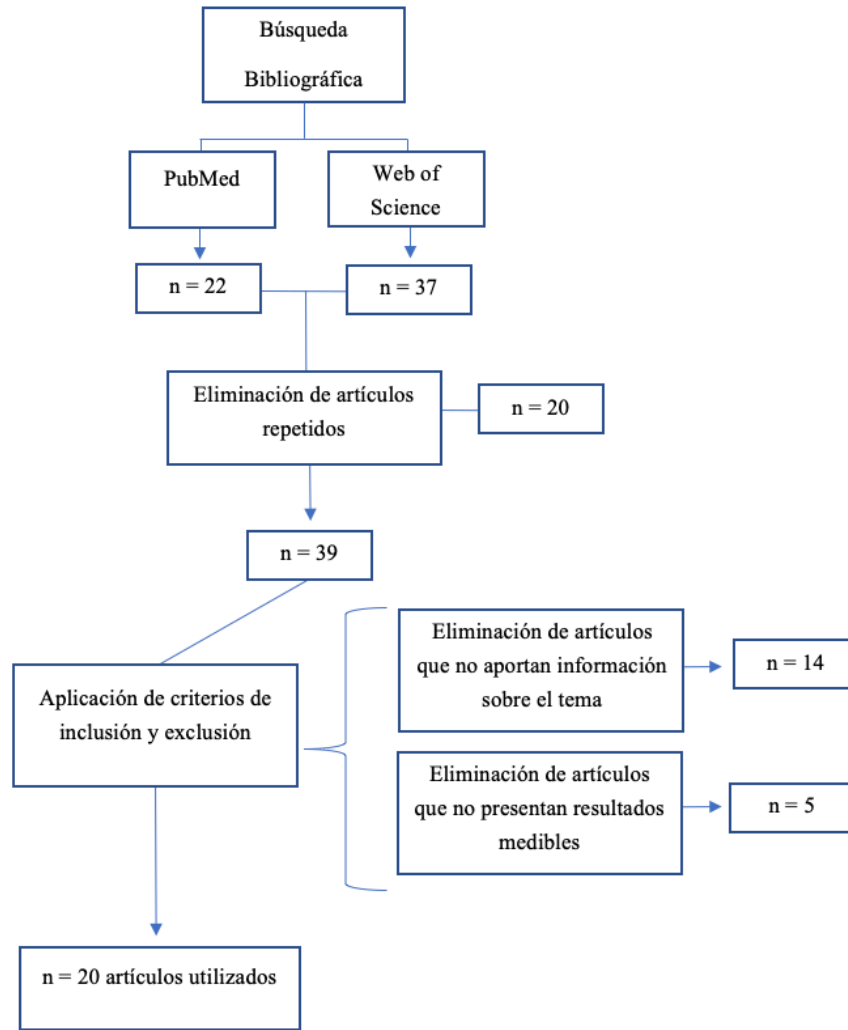
- **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- No aportan información sobre el tema.
- Artículos de acceso restringido.
- Previos a 2004.
- No aporta resultados medibles.

#### **3.1 SELECCIÓN DE ESTUDIOS**

El proceso de selección se describe en la figura 4. Se han obtenido un total de 59 artículos entre ambas bases de datos. Tras eliminar los que aparecían repetidos (20 ensayos) había 39 restantes. Continuando con el análisis, 14 ensayos no aportaban información sobre el tema tratado y 5 no contaban con resultados medibles. Tras aplicar los criterios de inclusión, se seleccionan 20 ensayos clínicos aleatorizados controlados.





**Figura 4:** Diagrama de flujo que representa el proceso de selección de los ensayos clínicos estudiados.

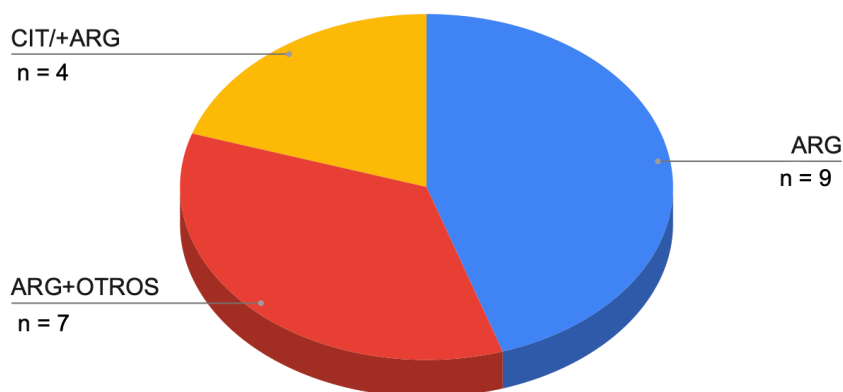
## 4. SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ESTUDIOS.

Esta revisión bibliográfica analiza un total de 20 artículos relacionados con las ayudas ergogénicas y la L-arginina, siguiendo la estrategia de búsqueda explicada en la metodología.

Los resultados obtenidos tras la lectura exhaustiva de los ensayos clínicos se han expuesto en la tabla 1 en la cual se recogen 5 variables para una mejor comprensión y visualización de sus principales características: autor principal y año de publicación, número y tipo de población sobre la que se realiza el ensayo, intervención que se lleva a cabo (especificando las cantidades de suplementación administradas y el tiempo de duración del ensayo), variables estudiadas y resultados estadísticos obtenidos.

De los 20 artículos que forman parte de esta revisión sistemática, 9 de ellos (12–20) solamente utilizan suplementación con L-arginina, independientemente de la cantidad y duración de la intervención. Un segundo grupo de ensayos clínicos son los que usan fórmulas con base de L-arginina, pero añadiendo otros componentes que pueden aportar beneficios (11, 21–26) y el tercer grupo incluye los que utilizan L-citrulina como precursor de L-arginina (27–30). Para hacerlo más visual, se muestran los tres grupos en la figura 5.



**Figura 5.** Clasificación de los estudios en función del componente utilizado. **ARG:** suplementación solo con L-arginina. **ARG+OTROS:** ensayos que utilizan L-arginina con otros componentes. **CIT/+ARG:** suplementación con L-citrulina y L-arginina.

Para profundizar en el análisis se muestran comparaciones entre los distintos grupos poblacionales, modos de intervención y tipo de ejercicios sobre los que se evalúa la intervención, así como estructura de la intervención (cantidad de compuesto y tiempo de intervención). Otra subdivisión que se debe hacer es la separación entre suplementación aguda y crónica. Consideramos que es aguda cuando sólo se administra el componente una única vez (previa al ejercicio), y crónica cuando dura al menos 7 días. La mayoría de los estudios ha sido realizada en varones, todos menos el dirigido por Aguiar et al. (17) en 2016.

Así mismo, 13 ensayos se realizan con individuos entrenados (11, 12, 27–29, 13, 18–21, 23, 25, 26) y 7 con individuos no entrenados previamente (14–17, 22, 24, 30). En base a la frecuencia de suplementación durante la intervención, 10 artículos utilizan suplementación aguda (11, 13–15, 17, 20, 22–24, 26) y otros 10 suplementación crónica (12, 16, 18, 19, 21, 25, 27–30). Finalmente, en los ejercicios que realizan durante la intervención destacan el ciclismo (16, 18, 19, 23, 24, 27–30) y las pruebas de fuerza (11, 13, 17, 20, 21).

**Tabla 1.** Características de los diferentes ensayos clínicos que forman parte de la revisión, se muestran las variables de estudio y los principales resultados.

RESULTADOS				
AUTOR	POBLACIÓN	INTERVENCIÓN	VARIABLES DE ESTUDIO	RESULTADOS
Collins et al., 2017	Adultos entrenados en resistencia n = 25	Bebida “ready to drink” (con 1,3g de nitrato de arginina, 200mg de cafeína, 2,1g β-alanina y otras vitaminas.) Durante 7 días.	Respuesta hemodinámica, fuerza máxima en una repetición, pruebas de resistencia muscular al fallo en el press de banca y press de piernas (antes y después de la prueba)	Mantuvo mejor la fuerza en la prensa de piernas y en una única repetición con el máximo peso posible p = 0,30  Aumento del volumen de levantamiento de press de banca al fallo p = 0,007  Aumento del volumen de levantamiento total p = 0,046
Gambardella et al., 2021	Jugadores profesionales de waterpolo n = 17	5g al día de L-Arginina durante 4 semanas	Muestra de sangre para ver el lactato sérico (antes y después de la prueba) para valorar la	No modificó el IMC, la fuerza muscular y la velocidad máxima a 200 metros

			producción de NO y la respiración mitocondrial.	L-arginina mejoró el metabolismo oxidativo para hacer ejercicio (mejor relación lactato-velocidad)  Aumentó la producción de óxido nítrico y la tasa máxima de consumo de oxígeno (P < 0.05)
Bailey et al., 2015	Adultos sanos n = 10	7 días de suplementación con 6g diarios de L-Arginina o 7g de L-Citrulina, frente al placebo.	Biomarcadores de NO, la cinética de consumo de oxígeno pulmonar (VO <sub>2</sub> ). Rendimiento en ciclismo de intensidad moderada (resistencia)	Ambas aumentaron el óxido nítrico en plasma (P < 0.05) y la concentración de L-arginina  L-citrulina: disminuyó la PAM y el tiempo de repuesta medio del VO <sub>2</sub> (P < 0.05)  Mejóro la tolerancia al ejercicio de intensidad severa Aumentó la cantidad total de trabajo completado en la prueba de rendimiento del ejercicio
Meirelles et al., 2018	Hombres saludables entrenados n = 12	6g de L-Arginina o placebo, 60 minutos antes de unas pruebas de fuerza.	Perfusión sanguínea, niveles de óxido nítrico y rendimiento en ejercicio de fuerza	Los niveles de nitrito no se modificaron con la suplementación aguda y el ejercicio de fuerza.  No mejora el rendimiento en el ejercicio de fuerza
Suzuki et al., 2016	Hombres entrenados n = 22	2,4g al día de L-citrulina vía oral, durante 7 días.	Niveles de L-arginina en plasma y óxido nítrico. Tiempo necesario para completar 4km en bicicleta. Fatiga percibida (EVA)	L-citrulina aumentó los niveles de L-arginina en plasma y redujo el tiempo de finalización del ejercicio en un 1,5% (p < 0,05)  L-citrulina mejoró la sensación de fatiga muscular después del ejercicio.

Andrade et al., 2018	Adultos jóvenes saludables n = 20	Suplementación aguda de 6g L-arginina y su papel en la recuperación post ejercicio de resistencia.	Número de repeticiones máximas, señal electromiográfica, dolor muscular y esfuerzo percibido. Niveles sanguíneos de creatina quinasa (CK) y lactato.	No hay diferencias significativas entre ambos grupos $p > 0,05$
Olek et al., 2010	Adultos sanos, pero no altamente entrenados n = 6	Una sola ingesta oral de L-arginina (2g) antes del ejercicio	Potencia anaeróbica de los deportistas (prueba anaeróbica de Wingate repetida) y niveles de óxido nítrico	La ingesta de L-arginina antes del ejercicio no influyó en el rendimiento físico, ni aumentó la concentración de óxido nítrico.
Camic et al., 2010	Hombres en edad universitaria n = 50	Administración diaria oral de suplementos de L-arginina (1,5g o 3g) durante 4 semanas.	Capacidad de trabajo físico hasta alcanzar el umbral de fatiga, mediante electromiografía (antes y después de la cicloergometría)	Mayor capacidad de trabajo hasta llegar al umbral de fatiga con ambas cantidades de L-arginina. ( $p < 0.05$ )  Retrasó la aparición de fatiga neuromuscular durante la cicloergometría en hombres no entrenados.
Tang et al., 2011	Hombres jóvenes sanos n = 8	Bebida con 10g de L-arginina y aminoácidos esenciales, en ejercicios de resistencia en una sola pierna.	El flujo sanguíneo de la arteria femoral de la pierna ejercitada y no ejercitada. Flujo de sangre muscular. Síntesis de proteínas del músculo esquelético	El nitrato, todos marcadores de la síntesis de NO, no cambiaron durante el ensayo. ( $p > 0.05$ )  No se encontraron diferencias de flujo sanguíneo entre los grupos. ( $p > 0.05$ )
Aguiar et al., 2016	Mujeres mayores sanas y físicamente activas n = 20	Efecto de la suplementación aguda con una sola toma con 8g de L-Arginina	Flujo sanguíneo (arteria femoral) antes y después de la prueba de fuerza. Fuerza isocinética, isométrica y funcional.	No hubo diferencias significativas entre la suplementación aguda y el placebo, antes o después del ejercicio ( $p > 0.05$ )
Sunderland et al., 2011	Ciclistas masculinos entrenados en resistencia n = 18	Suplementación de 12g al día (en 2 tomas) durante 28 días con L-arginina.	Resistencia mediante: el VO2 máx. y el umbral ventilatorio.	No se observaron cambios en el patrón ventilatorio

Abel et al., 2005	Atletas masculinos entrenados en resistencia n = 30	Suplementación crónica con dosis alta (5,7 g de L-arginina) o baja (2,8g de L-arginina)	VO2 máx. y el tiempo hasta fatiga, en una bicicleta ergométrica	No existen diferencias para esta población en comparación con el placebo
Álvarez et al., 2012	Hombres con experiencia previa en entrenamientos de fuerza n = 15	Suplementación aguda con 6 g de L-Arginina (previa al ejercicio)	Rendimiento de la fuerza del bíceps, indicadores de producción de NO, el volumen de sangre muscular y la oxigenación, durante la recuperación de 3 series de ejercicio de resistencia.	Aumenta el volumen de sangre muscular significativamente en ejercicios de resistencia, sin aumentar la fuerza. (p ≤ 0.05)
Suzuki et al., 2019	Jugadores de fútbol entrenados n = 24	Ingirieron 1,2g de ARG y CIT durante 6 días y el séptimo día una hora antes de la prueba	Concentraciones plasmáticas de NO post-ejercicio y percepción subjetiva de "dolor muscular en las piernas" y "facilidad para pedalear", después de la prueba de ciclismo de potencia máxima de 10 minutos.	La suplementación mejoró el rendimiento de ciclismo de 10 min y la percepción del esfuerzo físico.  Produjeron más potencia de pedaleo y el óxido nítrico post ejercicio también aumentó. (p < 0.05)
Beis et al., 2011	Ciclistas masculinos bien entrenados n = 10	11,2 g de GAKIK durante 45 minutos, previos a los dos ensayos.	La potencia máxima, el índice de fatiga, frecuencia cardíaca y calificaciones de esfuerzo percibido	GAKIK no tiene efecto ergogénico en series repetidas de ejercicio de alta intensidad en individuos entrenados. (p > 0,05)
Buford et al., 2004	Hombres n = 10	11,2 g de GAKIK o PLC durante un periodo de 45 minutos entre el descanso y el ejercicio.	Lactato plasmático, valores de potencia media y fatiga en series repetidas de rendimiento en ciclismo anaeróbico	Respalda una menor disminución de la potencia media en ejercicio anaeróbico supramáximo. (P = 0,038)
Wax et al., 2013	Hombres entrenados en fuerza n = 7	10,2 g de GAKIK previos a ejercicios de fuerza.	Lactato sanguíneo, la glucosa y la frecuencia cardíaca, en 5 series de entrenamiento al 75% de su "repetición máxima" (1-RM), además de un control del peso seleccionado.	El lactato y la frecuencia cardíaca no variaron. GAKIK aumentó significativamente el peso total levantado en la prensa de piernas.

Greer et al., 2011	Hombres en edad universitaria y entrenados n = 12	Suplementación aguda con 3.700 mg de L-arginina alfa-cetoglutarato (AAKG), 30 minutos antes el ejercicio de resistencia	Resistencia muscular del brazo y la cintura escapular, además de la tensión arterial en respuesta al ejercicio anaeróbico	La suplementación con AAKG no mejoró la resistencia muscular, ni afectó significativamente la respuesta de la PA al trabajo anaeróbico.
Campbell et al., 2006	Hombres adultos entrenados en fuerza entre 30 y 50 años n = 10	4 g de AAKG (tres veces al día durante 8 semanas de pruebas)	Marcadores clínicos en sangre, 1-RM en press banca y pruebas de capacidad aeróbica,	Mejoras en el grupo suplementado para 1-RM press de banca ( $P < 0.05$ ), Potencia máxima de Wingate, glucosa en sangre y L-arginina plasmática.
Stanelle et al., 2020	Ciclistas entrenados n = 9	Suplementación (durante una semana) en 2 periodos con 6g de L-Citrulina, dejando entre los dos periodos una semana sin ingesta.	Frecuencia cardíaca, cansancio percibido, tiempo en realizar las pruebas	La suplementación con CIT produjo una mejora en el tiempo de la contrarreloj (40 km) y promovió un aumento en la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido  Mejora leve en el rendimiento del ciclismo de resistencia en atletas entrenados

**AAKG:** Arginina Alfa-Cetoglutarato. **ARG:** L-Arginina. **CIT:** L-Citrulina. **FC:** Frecuencia cardíaca. **GACIK:** Acido Glicina-Arginina- $\alpha$ -Cetoisocaproico. **IMC:** Índice de masa corporal. **NO:** Óxido nítrico **PAM:** Presión arterial media. **PA/TA:** Presión arterial/Tensión arterial. **PLC:** placebo **VO2MAX:** Volumen de oxígeno máximo que puede procesar el organismo durante el ejercicio. **1-RM:** Repetición máxima.

#### 4.2 COMPUESTOS CON LOS QUE SE LLEVA A CABO LA INTERVENCIÓN: L-ARGININA.

En los ensayos cuya intervención se realiza exclusivamente con L-arginina, esta se compara con un placebo (en muchos casos de origen polisacárido) sin efectos ergogénicos beneficiosos demostrados. De estos estudios, 3 de ellos (12, 16, 20) obtuvieron resultados a favor de la suplementación con L-arginina y 6 (13–15, 17–19) no obtuvieron diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas. Hay que tener en cuenta que las variables de estudio son diferentes en los distintos estudios. Por ejemplo, los que sí apoyan la suplementación, uno evalúa la producción de óxido nítrico y la tasa máxima de

consumo de oxígeno (12), otro de ellos la capacidad de trabajo hasta el umbral de fatiga (16) y el último valora el volumen de sangre muscular en ejercicios de resistencia. Sin embargo, los que no apoyan la suplementación tienen en cuenta otras variables como son: niveles de óxido nítrico en ejercicios de fuerza (13), número de repeticiones máximas en estos ejercicios (14), flujo sanguíneo en la arteria femoral (17) o el patrón ventilatorio (18).

A continuación, diferenciaremos entre los ensayos clínicos con población entrenada y no entrenada. Es importante aclarar que en el grupo “no entrenados” se incluyen personas adultas sanas, con un nivel de acondicionamiento físico inferior a las personas del grupo “entrenados”, pero eso no significa que se encuentren en condiciones desfavorables para hacer el ejercicio. Otra diferenciación que se debe hacer es la separación entre suplementación aguda y crónica. Consideramos que es aguda cuando sólo se administra el componente una única vez (previa al ejercicio), y crónica cuando dura al menos 7 días. Los efectos cambiarán entre los grupos, especialmente refiriéndonos a las concentraciones plasmáticas de L-Arginina.

#### **4.2.1 Análisis de resultados tras la ingesta de L-Arginina de manera aguda y crónica en individuos no entrenados.**

En la población no entrenada (pero sí saludable) se mide la respuesta ergogénica de la L-arginina en ejercicios de resistencia. En el estudio llevado a cabo por Olek et al. en 2010 (15), se prueba la efectividad de una sola ingesta de 2g L-arginina oral antes del ejercicio. Las variables para medir el rendimiento, como la medición del óxido nítrico y la prueba de Wingate, no mejoran en relación con el placebo. La prueba consistió en tres pruebas anaeróbicas de Wingate supramáximas, de 30 segundos, con descanso de 4 minutos entre cada una. En ambos grupos se observó un aumento de lactato y amonio por degradación de proteínas. Es importante aclarar que en el grupo “no entrenados” se incluyen personas adultas sanas, con un nivel de acondicionamiento físico inferior a las personas del grupo “entrenados”.

Otro ensayo de suplementación aguda en usuarios no entrenados el ensayo llevado a cabo por Andrade et al. en 2018 (14), en el que 20 jóvenes saludables se someten a una prueba de resistencia, valorando diferentes variables. Se mide desde el punto de vista de la bioquímica los marcadores del ejercicio anaerobio (como el lactato) y de estrés muscular (como el aumento de creatinquinasa en sangre). Utiliza la suplementación aguda con 6g



de L-Arginina vía oral. Pero la comparativa entre el grupo intervención y el placebo tampoco encuentra diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Por otra parte, hay un único ensayo que ejercicio de fuerza para mujeres mayores no entrenadas Aguiar et al. (17) estudia la eficacia de una única ingesta de 8g de L-Arginina, sobre la mejora el flujo sanguíneo en la arteria femoral y la fuerza isométrica y funcional. No encuentra diferencias significativas entre los dos grupos de estudio ( $p > 0,05$ ).

En el ensayo dirigido por Tang et al. en 2011 (22), se prueba la efectividad de una sola dosis de un compuesto a base de 10g L-arginina y aminoácidos esenciales. Los 8 jóvenes participantes se someten a ejercicios de resistencia con una sola pierna. A lo largo de las dos sesiones se midió el flujo sanguíneo de la arteria femoral, el flujo de sangre muscular y la síntesis de proteínas del músculo esquelético. Todas las mediciones se hicieron en ambas piernas para poder comparar los valores de la ejercitada con la que estaba en reposo. No se encontraron diferencias significativas en ninguna sesión, ni variaciones entre los miembros. Este ensayo, a pesar de aportar una mayor dosis de L-arginina en la suplementación, no logra demostrar su hipótesis. Además, algunos ensayos mencionados anteriormente, como el dirigido por Olek et al. (15), cuya intervención también implica la ingesta aguda de L-arginina y en menor cantidad (2g), tampoco consigue confirmar la hipótesis de mejoría, pues los resultados son similares a los encontrados por Tang et al.

Dentro de los trabajos cuya intervención es mediante ingestas crónicas de L-arginina se encuentra el trabajo llevado a cabo por Camic et al. (16), en el que la suplementación crónica son dos dosis distintas de L-Arginina (1,5 y 3g) durante 4 semanas, los autores observan diferencias estadísticamente significativas a favor de la intervención ( $p < 0,05$ ). Por lo tanto, estos autores respaldan el uso de L-arginina en las dosis estudiadas como ayuda ergogénica para individuos no entrenados. La principal diferencia con los anteriores es la utilización de la suplementación crónica.

En un ensayo realizado por Camic et al. en 2010 (16), en hombres en edad universitaria y con una muestra más representativa ( $n = 50$ ), afirma que existe mejoría con la suplementación. La principal diferencia con los anteriores es la utilización de la suplementación crónica. En esta ocasión no se compara con placebo, sino que hay dos grupos intervención con dos cantidades distintas. Uno ingiere 1,5g de L-arginina oral y el otro 3g, ambos durante 4 semanas. El método de valoración fue la “prueba de capacidad de trabajo físico sobre el umbral de fatiga”. Se hace un estudio de la conducción nerviosa mediante electromiografía, a fin de estudiar la aparición de fatiga neuromuscular,

mientras que realizan una prueba hasta el agotamiento en un cicloergómetro. Se observan aumentos significativos entre la prueba previa a la intervención y la posterior a la misma, por lo que los autores aconsejan el uso de L-arginina, de forma crónica, como ayuda ergogénica para personas no entrenadas.

Apoyando la evidencia de los estudios anteriores, Bailey et al. (30) prueba con la suplementación durante 7 días de 6g de L-arginina frente a 7g de L-citrulina y al placebo. El grupo al que se le administró L-arginina consiguió un aumento del óxido nítrico en plasma respecto al grupo control ( $p < 0,05$ ) y con la L-citrulina se aproximó también a este resultado. Por tanto, se consideró positivo el efecto de los suplementos. Además, la L-citrulina consiguió un descenso de la presión arterial media, mejoró la tolerancia al ejercicio de alta intensidad y disminuyó el tiempo de respuesta medio del VO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ). Por su parte, la L-arginina no produjo estos resultados en las variables a nivel sistémico ( $p > 0,05$ ).

Por lo tanto, los resultados de estos estudios parecen indicar que el uso de L-arginina y L-citrulina de manera crónica en individuos no entrenados es beneficioso, entre 1,5 y 7g diarios.

#### **4.2.2 Análisis de resultados tras la ingesta de L-Arginina de manera aguda y crónica en individuos entrenados.**

En el grupo de los ensayos en personas entrenadas, encontramos un total de 13 artículos. Se pueden diferenciar en función de qué dosis de L-arginina utilicen como intervención o en función de la disciplina deportiva en la que sean evaluados.

En primer lugar, hablaremos de la suplementación aguda. Álvares et al. (20) en 2012 estudia el efecto de la suplementación aguda de L-arginina en hombres con experiencia previa (al menos 3 meses) en ejercicios de fuerza. La cantidad de L-arginina que se administra es 6g. Las variables de estudio son: producción de óxido nítrico, el volumen de sangre muscular y la oxigenación durante la recuperación post ejercicio de resistencia, para poder confirmar el efecto vasodilatador de la L-arginina y el rendimiento de la fuerza del bíceps. Los resultados confirman el aumento del volumen de sangre muscular durante los ejercicios de resistencia, sin aumentar la fuerza muscular en el grupo de intervención.

Otro estudio realizado por Meirelles et al. en 2018 (13) en hombres ciclistas entrenados en resistencia, analizó también la posible mejoría con la ingesta aguda de 6g de L-arginina, 60 minutos antes de las pruebas de fuerza. Sin embargo, no se obtuvieron los

mismos resultados que el ensayo de Álvarez et al., los niveles de óxido nítrico no se modificaron en ejercicio de fuerza. En este caso, se valora la perfusión sanguínea y niveles de óxido nítrico de 12 hombres entrenados, a lo largo de 3 sesiones al 70-80% de su fuerza máxima. Al finalizar la medición y analizar los datos, no dedujeron ninguna mejora en la suplementación aguda para ejercicios de fuerza.

En referencia a los ejercicios de resistencia, el ensayo de Álvarez et al. en 2012 (20), sí pudo afirmar el aumento de volumen de sangre muscular, en ejercicios de resistencia. Utilizando la misma dosis de L-arginina (6g) y en una única dosis previa al ejercicio. Los resultados significativos ( $p < 0,05$ ) se obtuvieron mediante indicadores de producción de óxido nítrico, volumen de sangre muscular y la oxigenación tisular durante la recuperación en cada una de las tres series de ejercicios aeróbicos.

En segundo lugar, hay tres artículos principales que se basan en la suplementación crónica.

El ensayo ejecutado por Sunderland et al. en 2016 (18), valora la capacidad ergogénica de la L-arginina, tras la suplementación a lo largo de 28 días, con 12g en dos tomas. Los 18 participantes son ciclistas entrenados en resistencia. Tras valorar la resistencia mediante el VO<sub>2</sub> máx. y el umbral ventilatorio, no se encontraron diferencias entre el grupo placebo y el intervenido. Deducimos que su organismo logra la síntesis de óxido nítrico sin la necesidad de ayudas nutricionales. La misma conclusión había obtenido Abel et al. (19) después de evaluar una prueba de resistencia en bicicleta ergométrica. Se administraron 2 dosis distintas de aspartato de L-arginina (5,7 y 2,8g) y se comparan con un placebo. El VO<sub>2</sub> máx. y el tiempo hasta fatiga no mejora en el grupo intervención.

Para finalizar los principales ensayos en la suplementación crónica en personas entrenadas, un estudio muy reciente de 2021 (12) evalúa la ingesta durante 4 semanas de 5g diarios de L-arginina, en un grupo de 17 jugadores de waterpolo. Las diferencias en el deporte podrían haber sido la clave de los resultados, pues en esta ocasión sí se encontraron resultados positivos. Aumentó la producción de óxido nítrico y la tasa máxima de consumo de oxígeno ( $p < 0,05$ ). Se pudo demostrar mediante una muestra de sangre (para valorar el lactato sérico), antes y después de prueba, para valorar la producción de óxido nítrico y la respiración mitocondrial.

#### **4.3 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS QUE ADMINISTRAN OTROS COMPONENTES JUNTO CON L-ARGININA.**

En diferentes ensayos, el tratamiento de intervención es la L-arginina junto con otros compuestos que podrían participar en la posible mejora en la efectividad del rendimiento físico. Este es el caso de Collins et al. en 2017 (21), que escoge de manera aleatoria a 25 adultos entrenados en resistencia. En su intervención utiliza una bebida “ready to drink” (lista para beber), con 1,3g de nitrato de L-arginina, 200mg de cafeína, 2,1g de  $\beta$ -alanina y otras vitaminas. Se sometió a los participantes a unas pruebas de resistencia buscando el fallo en press de banca y plancha de piernas, antes y después de la suplementación. Algunos de los resultados más llamativos del grupo intervenido fueron: el aumento del peso levantado en press banca al fallo ( $p = 0,007$ ) y un mejor mantenimiento de la fuerza en la prensa de piernas ( $p = 0,03$ ).

En el ámbito del fútbol también se ha evaluado la posible potencia ergogénica de una suplementación con L-arginina añadida a una serie de compuestos. Se trata de un ensayo realizado por Suzuki et al. en 2019 (27), en el que los participantes ingirieron 1,2g de L-arginina asociada con L-citrulina durante 6 días. Los 24 jugadores reconocieron una mejoría subjetiva en la percepción del dolor muscular. Además, aumentó la concentración de óxido nítrico tras pedaleo ( $p < 0,05$ ) y mejoró el pedaleo en la potencia máxima durante 10 minutos. Concluye afirmando que la suplementación crónica de L-arginina y su precursora es efectiva en individuos entrenados para el aumento de óxido nítrico en sangre.

#### **4.4 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS EN LOS QUE SE ADMINISTRA L-CITRULINA.**

En el estudio llevado a cabo por Takashi et al. (28) se evaluó la eficacia de la toma de 2,4g al día de L-citrulina vía oral, durante 7 días. Se realizó la medición de L-arginina en plasma antes y después del ensayo, así como el óxido nítrico. La prueba física se basó en determinar el tiempo que necesitaban los 22 hombres, para completar 4km en bicicleta. Los autores confirmaron la hipótesis planteada, ya que obtuvieron resultados estadísticamente significativos, pues se aumentaron los niveles de L-arginina y se redujo el tiempo en un 1,5% ( $p < 0.05$ ). Al mismo tiempo, la sensación de fatiga y la concentración mejoraron. Demostró el potencial ergogénico de la L-citrulina.

Para apoyar aún más el poder ergogénico de la L-citrulina, Stanelle et al. (29) llevaron a cabo un ensayo donde 9 ciclistas entrenados, ingirieron 6g de L-citrulina en dos semanas, dejando una de descanso en el medio. Las variables medidas son similares a las del estudio anterior. Los resultados son también similares: mejora del tiempo contrarreloj, aumento del esfuerzo percibido y mejora leve del rendimiento en ciclismo de resistencia ( $p < 0.05$ ).

#### **4.5 ENSAYOS EN INDIVIDUOS ENTRENADOS EN LOS QUE SE ADMINISTRA OTROS COMPUESTOS DERIVADOS DE LA L-ARGININA.**

Hay otros estudios que se han llevado a cabo con compuestos derivados de la L-arginina. Uno de ellos es el GACIK (ácido glicina-arginina- $\alpha$ -cetoisocaproico). Un ensayo de Beis et al. (23) llevado a cabo sobre ciclistas bien entrenados no logró demostrar una mejora en el ejercicio de alta intensidad de estos individuos, con la toma de 11,2g, 45 minutos antes del ejercicio. El motivo podría ser similar a algunos ensayos previamente mencionados, su capacidad aeróbica es mayor que en otras disciplinas. Para corroborar esta conclusión, se muestra el estudio llevado a cabo por Wax et al. (11), cuya suplementación va dirigida a hombres entrenados en fuerza, en ambos casos la suplementación es aguda y de cantidades muy parecidas. A nivel bioquímico no hay cambios significativos entre la glucosa en sangre o el lactato entre los grupos comparados, pero sí sugiere un aumento de fuerza en el tren inferior tras evaluar las pruebas.

Junto con el GACIK, el arginina alfa-cetoglutarato (AAKG) es un compuesto muy utilizado en el deporte, pues se trata de una fórmula muy avanzada de la L-arginina, necesaria para la convertir los macronutrientes en energía. Por una parte, su utilización de forma aguda no se respalda por el ensayo llevado a cabo por Greer et al. (26) en varones en edad universitaria. Ingirieron 3,7g de AAKG, tan solo 30 minutos antes del ejercicio de resistencia. No se consiguió el efecto de disminución de la presión arterial durante el ejercicio. Por otro lado, el ensayo llevado a cabo en hombres entrenados en fuerza (25), sí encontró mejoras en el grupo suplementado. Se utilizaron 4g de AAKG de forma crónica (3 veces al día durante 8 semanas de pruebas). El levantamiento de peso máximo en una repetición (1-RM) mejoró significativamente ( $p < 0,05$ ) en press de banca. También la potencia máxima de Wingate, la glucosa en sangre y los niveles de L-arginina plasmática evolucionaron positivamente.

Por lo tanto, el AAKG es útil como ayuda ergogénica en ejercicios de fuerza (25), llegando a las mismas conclusiones que con el GACIK: las personas entrenadas en ejercicios de resistencia (especialmente a alta intensidad) no precisan suplementos con L-arginina para alcanzar sus concentraciones ventajosas en sangre (23, 26).

## **5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.**

Acorde con la revisión sistemática realizada, podemos afirmar que hay evidencia positiva sobre el papel de la L-arginina como ayuda ergogénica nutricional, para promover el aumento del rendimiento deportivo. Las variables estudiadas son muy diferentes, por lo que resulta complejo comparar resultados. Además, las capacidades físicas sobre las que se valora el efecto de la L-arginina no son iguales en todos los estudios. Debemos discriminar especialmente en las capacidades físicas que se desean mejorar, la duración de la suplementación, la cantidad ingerida y la forma en la que se administra la L-arginina, con un precursor, como es la L-citrulina, o como compuestos derivados (GACIK y AAKG).

En individuos no entrenados, la suplementación aguda con L-arginina no es efectiva (14), al menos, para las cantidades estudiadas en los ensayos clínicos que se recogen en esta bibliografía. En este grupo, no se ha conseguido aumentar las concentraciones de óxido nítrico en sangre, impidiendo así alcanzar sus beneficios a nivel vascular. Las causas que sugieren un fracaso son: que no se ha alcanzado la concentración necesaria de compuesto para que aporte beneficios o que la suplementación aguda no es efectiva en pruebas de resistencia aeróbica.

En cambio, la suplementación crónica (más de una semana) con L-arginina sí se considera efectiva en personas sin entrenamiento previo en resistencia (30). Este suplemento puede disminuir la presión arterial y aumentar la capacidad de trabajo físico hasta llegar al umbral de fatiga, ingiriendo dosis desde 1,5 a 3g diarios (durante 4 semanas) (16), hasta ingestas más altas de 6g diarios de L-arginina o L-citrulina (durante 7 días) (30). Esta última también redujo el tiempo en el que el organismo tarda en alcanzar su capacidad máxima de oxígeno procesado ( $VO_2$  MÁX) (30).

Realizando una síntesis de los resultados tras el estudio bibliográfico, podemos afirmar que la suplementación crónica con L-Arginina es efectiva en individuos no entrenados en resistencia (16).

En contraposición, en individuos entrenados en resistencia, se considera que alcanzan fácilmente las concentraciones de óxido nítrico mediante los procesos bioquímicos del organismo, sin necesidad de suplementación (13).

Debido a la variabilidad que aparece al comparar qué valora cada investigador, encontramos por una parte que la L-arginina ingerida en una sola dosis (6g), es eficaz en individuos entrenados en fuerza, que van a participar en deportes de resistencia. Aumenta el volumen de sangre en el músculo esquelético, facilitando la recuperación muscular (20). Es decir, la utilización de L-arginina como única dosis sirve en el entrenamiento de resistencia para personas entrenadas, pero no en el de fuerza. Por otra parte, no se recomienda la ingesta aguda de L-arginina, en la población entrenada, que vaya a realizar ejercicios de fuerza (13). La disparidad de los resultados puede venir por la diferente preparación de los participantes. En el artículo de Álvarez et al. (20) los hombres tenían preparación en trabajo de fuerza, antes de hacer esta prueba, lo que podría condicionar el resultado. Así mismo, Se necesitan más ensayos para concretar por qué se produce esta disparidad de resultados.

La ingesta crónica de L-arginina está desaconsejada también en personas entrenadas en resistencia (como el ciclismo), a la hora de hacer ejercicios de resistencia (18,19), dado que no mejora el patrón ventilatorio, ni aumenta la capacidad aeróbica. Estos deportistas alcanzan los niveles de óxido nítrico sin necesidad de suplementación. La excepción es en el caso del waterpolo, en el que 5g diarios de L-arginina (durante 4 semanas), mejoran el metabolismo oxidativo y aumentan la tasa máxima de consumo de oxígeno (12). Por lo tanto, se necesitarían más estudios con ingestas crónicas de L-arginina en personas entrenadas para poder tener una evidencia sólida de la eficacia del compuesto de estudio.

La L-citrulina (precursor de L-arginina) es beneficiosa a su vez en hombres entrenados en resistencia, especialmente si se van a someter a pruebas de ciclismo o cicloergonometría, para medir su capacidad aeróbica (29). Para que sea efectiva, su ingesta debe ser de forma crónica, a lo largo de una semana, en dosis de 2,4 a 6g. Su efecto ergogénico reside en el aumento de la concentración plasmática de L-arginina (28) (obteniendo las mismas mejoras relacionadas con la vasodilatación) y la reducción del tiempo de finalización en las pruebas contrarreloj. También tiene un papel fundamental en la menor percepción de cansancio subjetivo.

Finalmente, se pueden utilizar compuestos derivados de la L-arginina como el GACIK, de forma aguda, en entrenamientos de fuerza (11) (sobre todo del tren inferior) o el

AAKG, tanto una sola dosis como crónicamente, también en entrenamientos de fuerza (25), con su consiguiente beneficio levantando mayores volúmenes.

Para concluir, debo destacar que dependiendo de la población de estudio (entrenados y no entrenados), del tipo de intervención (crónica o aguda), de la dosis utilizada, de las capacidades físicas de las personas y de las variables estudiadas, la actividad de la L-arginina o sus precursores, será efectiva en el rendimiento físico.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Gandarillas Jiménez A. Nutrición y suplementación deportiva: Una mirada enfermera - Sports nutrition and Supplementary feeding: a nursing approach [Internet]. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA; 2017 [citado 2 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/11760>.
2. Palacios N, Zenarruzabeitia DZM, Camacho DAMR. Alimentación, nutrición e hidratación en el deporte. MADRID; 2009. 28 p.
3. Barrera Páez. L. El proceso de la comunicación en alimentación y salud. [Internet]. Tratado de Nutrición. Tomo 4. Médica Panamericana; 2017 [citado 2 de mayo de 2022]. 681-702 p.
4. González Gross MM, Aparicio-Ugarriza R, Fuentes Jiménez F, Mielgo-Ayuso JF. Nutrición deportiva: desde la fisiología a la práctica. Vol. II. MADRID: EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA; 2021. 256-350 p.
5. Benardot D. Manual acsm de nutrición para ciencias del ejercicio. Barcelona. Mendoza C, editor. 2001. 804 p.
6. Fernández Castillo GM. Rendimiento Deportivo: ¿Qué es el VO2 Máx? [Internet]. 2019 [citado 2 de mayo de 2022]. p. 1. Disponible en: <https://www.clinicaalemana.cl/articulos/detalle/2019/rendimiento-deportivo-que-es-el-vo2-max>.
7. Pasteur F. ¿Qué es la suplementación deportiva y qué efectos tiene sobre la salud? [Internet]. 2020 [citado 2 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://escuelafarmacia.com/que-es-la-suplementacion-deportiva-y-efectos-sobre-la-salud/>.
8. Dallo AL, Ramon J, Cairó B, Victoria D, Salas P, Pasabán Lizarribar SE, et al. Alimentación y deporte: tendencias actuales, tecnología, innovación y pedagogía [Internet]. 2008. 61 p. Disponible en: [www.institutotomaspascual.es](http://www.institutotomaspascual.es).
9. Carolina M, Trujillo B, Tovar AP. Oxido nítrico: implicaciones fisiopatológicas. Rev Col Anest. 2008;36:45-52.

10. Test anaeróbico Wingate [Internet]. CYCLUS 2. 2013 [citado 4 de mayo de 2022]. p. 1. Disponible en: <https://www.cyclus2.com/es/test-anaerobico-wingate.htm>.
11. Wax B, Kavazis AN, Brown SP, Hilton L. Effects of supplemental GAKIC ingestion on resistance training performance in trained men. *Res Q Exerc Sport* [Internet]. 2013 [citado 26 de abril de 2022];84(2):245-51.
12. Gambardella J, Fiordelisi A, Spigno L, Boldrini L, Lungonelli G, Di Vaia E, et al. Effects of Chronic Supplementation of L-Arginine on Physical Fitness in Water Polo Players. *Oxid Med Cell Longev* [Internet]. 2021 [citado 26 de abril de 2022] 43(2):35-11.
13. Meirelles CM, Matsuura C. Acute supplementation of L-arginine affects neither strength performance nor nitric oxide production. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 1 de marzo de 2018 [citado 26 de abril de 2022];58(3):216-20.
14. Andrade WB, Jacinto JL, da Silva DK, Roveratti MC, Estoche JM, Oliveira DB, et al. l-Arginine supplementation does not improve muscle function during recovery from resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* [Internet]. 2018 [citado 26 de abril de 2022];43(9):928-36.
15. Olek R.A., E Ziemann, T Grzywacz, S Kujach, M Luszczczyk, J Antosiewicz RL. A single oral intake of arginine does not affect performance during repeated Wingate anaerobic test. *J Sport Med Phys fitnesshe J Sport Med Phys Fit* [Internet]. 2019 [citado 27 de abril de 2022];50(1):52-6.
16. Camic CL, Housh TJ, Zuniga JM, Hendrix RC, Mielke M, Johnson GO, et al. Effects of arginine-based supplements on the physical working capacity at the fatigue threshold. *J strength Cond Res* [Internet]. 2010 [citado 26 de abril de 2022];24(5):1306-12.
17. Aguiar AF, Balvedi MCW, Buzzachera CF, Altimari LR, Lozovoy MAB, Bigliassi M, et al. L-Arginine supplementation does not enhance blood flow and muscle performance in healthy and physically active older women. *Eur J Nutr* [Internet]. 1 de septiembre de 2016 [citado 26 de abril de 2022];55(6):2053-62.
18. Sunderland KL, Greer F, Morales J. VO<sub>2</sub>max and ventilatory threshold of trained cyclists are not affected by 28-day L-arginine supplementation. *J strength Cond Res* [Internet]. marzo de 2011 [citado 26 de abril de 2022];25(3):833-7.

19. Abel T, Knechtle B, Perret C, Eser P, Von Arx P, Knecht H. Influence of chronic supplementation of arginine aspartate in endurance athletes on performance and substrate metabolism - a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Int J Sports Med* [Internet]. junio de 2005 [citado 26 de abril de 2022];26(5):344-9.
20. Álvares TS, Conte CA, Paschoalin VMF, Silva JT, Meirelles C de M, Bhambhani YN, et al. Acute l-arginine supplementation increases muscle blood volume but not strength performance. *Appl Physiol Nutr Metab* [Internet]. febrero de 2012 [citado 26 de abril de 2022];37(1):115-26.
21. Collins PB, Earnest CP, Dalton RL, Sowinski RJ, Grubic TJ, Favot CJ, et al. Short-Term Effects of a Ready-to-Drink Pre-Workout Beverage on Exercise Performance and Recovery. *Nutrients* [Internet]. 1 de agosto de 2017 [citado 26 de abril de 2022];9(8):823.
22. Tang JE, Lysecki PJ, Manolagos JJ, MacDonald MJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Bolus arginine supplementation affects neither muscle blood flow nor muscle protein synthesis in young men at rest or after resistance exercise. *J Nutr* [Internet]. 1 de febrero de 2011 [citado 26 de abril de 2022];141(2):195-200.
23. Beis L, Mohammad Y, Easton C, Pitsiladis YP. Failure of glycine-arginine- $\alpha$ -ketoisocaproic acid to improve high-intensity exercise performance in trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* [Internet]. 2011 [citado 26 de abril de 2022];21(1):33-9.
24. Buford BN, Koch AJ. Glycine-arginine-alpha-ketoisocaproic acid improves performance of repeated cycling sprints. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. abril de 2004 [citado 26 de abril de 2022];36(4):583-7.
25. Campbell B, Roberts M, Kerksick C, Wilborn C, Marcello B, Taylor L, et al. Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of L-arginine alpha-ketoglutarate in trained adult men. *Nutrition* [Internet]. septiembre de 2006 [citado 26 de abril de 2022];22(9):872-81.

26. Greer BK, Jones BT. Acute arginine supplementation fails to improve muscle endurance or affect blood pressure responses to resistance training. *J strength Cond Res* [Internet]. julio de 2011 [citado 26 de abril de 2022];25(7):1789-94.
27. Suzuki I, Sakuraba K, Horiike T, Kishi T, Yabe J, Suzuki T, et al. A combination of oral L-citrulline and L-arginine improved 10-min full-power cycling test performance in male collegiate soccer players: a randomized crossover trial. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 1 de mayo de 2019 [citado 26 de abril de 2022];119(5):1075-84.
28. Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 19 de febrero de 2016 [citado 26 de abril de 2022];13(1):276-81.
29. Stanelle ST, McLaughlin KL, Crouse SF. One Week of L-Citrulline Supplementation Improves Performance in Trained Cyclists. *J strength Cond Res* [Internet]. 1 de marzo de 2020 [citado 26 de abril de 2022];34(3):647-52.
30. Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. L-Citrulline supplementation improves O<sub>2</sub> uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol* [Internet]. 15 de agosto de 2015 [citado 26 de abril de 2022];119(4):385-95.