



# **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

## **Doble grado en educación primaria y Ciencias de la actividad física y el deporte**

### ***Investigación aplicada***

*“Efectos de la beta alanina sobre el rendimiento neuromuscular y cardiovascular en tenistas de competición”*

Autor: Jesús Souto Morillo-Velarde

Director: Álvaro López Samanes

Curso académico: 5º curso

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>Justificación del tema elegido .....</b>	<b>5</b>
<b>Marco teórico.....</b>	<b>6</b>
<b>Métodos .....</b>	<b>10</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>17</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>19</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>22</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>23</b>

## Resumen

**Introducción:** La beta-alanina es un suplemento dietético ampliamente utilizado en el campo del rendimiento deportivo, sin embargo, la evidencia científica sobre su uso en deportes de raqueta es escasa. El objetivo de este trabajo fin de grado fue examinar los efectos de la suplementación crónica con beta-alanina (4-semanas) sobre el rendimiento neuromuscular y cardiovascular en tenistas de alto nivel.

**Métodos:** Catorce tenistas masculinos (ranking nacional top-200 senior) recibieron 4.8 gramos diarios de beta-alanina o placebo durante 4 semanas consecutivas en un diseño aleatorizado, paralelo y doble ciego. Previamente y tras la suplementación de 4-semanas, los jugadores de tenis completaron una serie de pruebas neuromusculares y cardiovasculares que incluían test velocidad de saque, salto con contramovimiento (CMJ), fuerza isométrica manual, sprint de 10 m, test agilidad 5-0-5, test sprints repetidos con cambio de dirección (RSA) y la evaluación del fitness aeróbico mediante una prueba de consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ )

**Resultados:** La suplementación con beta-alanina mejoró significativamente el tiempo medio en la prueba RSA en comparación con el placebo ( $p = 0.011$ ,  $\eta p^2 = 0.22$ ), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre condiciones en el resto de variables de rendimiento neuromuscular ( $p=0.479-0.962$ ,  $\eta p^2=0.00-0.03$ ). **Conclusión:** La suplementación con beta-alanina (4.8 gramos / día) ha sido propuesta como una estrategia nutricional para mejorar el rendimiento en esfuerzos de alta intensidad en tenis de alto nivel.

## **Abstract**

The aim of this study was to examine the effects of chronic beta-alanine supplementation on neuromuscular and cardiovascular performance in high-level tennis players. Beta-alanine is a dietary supplement commonly used to enhance athletic performance; however, scientific evidence regarding its effects in racket sports remains limited. Therefore, the aim of this undergraduate thesis was to examine the impact of beta-alanine supplementation on neuromuscular performance in highly competitive male tennis players. **Methods:** Fourteen male tennis players (ranked within the national senior top 200) were assigned to receive either 4.8 g of beta-alanine or a placebo for four consecutive weeks under a randomized, double-blind, parallel design. Before and after the supplementation period, participants completed a battery of neuromuscular tests, including serve speed, countermovement jump, handgrip isometric strength, 10 m sprint, 5-0-5 agility test, repeated sprint ability test with change of direction (RSA), and maximal oxygen uptake ( $VO_2\text{max}$ ). **Results:** A significant improvement was observed in the meantime to complete the RSA test ( $p = 0.011$ ,  $\eta p^2 = 0.22$ ) following beta-alanine supplementation compared to placebo. No significant differences were found between conditions for the remaining neuromuscular performance variables ( $p > 0.05$ ). **Conclusion:** A four-week supplementation protocol with 4.8 g/day of beta-alanine may be an effective nutritional strategy to enhance repeated sprint performance in competitive tennis players.

## **Justificación del tema elegido**

Durante el transcurso que he tenido en estos cinco años en el Doble Grado de Ciencias de la Actividad Física y Educación Primaria he recibido numerosa formación sobre diferentes deportes en distintas asignaturas, sin embargo, he tenido pocas materias centradas en la nutrición deportiva. No obstante, gracias a la propuesta de mi tutor sobre la posibilidad de hacer mi trabajo de fin de grado sobre una investigación aplicada centrada en la suplementación de beta alanina en jugadores de tenis, consideré que era una buena oportunidad para aprender y formarme sobre un tema que está en auge hoy en día en el mundo deportivo como es la suplementación y un tema que como he mencionado anteriormente no he visto apenas en la carrera. Como he comentado, mi trabajo se centra en cómo la suplementación deportiva afecta en el contexto deportivo y concretamente cómo la ingesta de beta alanina afecta al rendimiento en tenistas. La suplementación con beta alanina ha adquirido una gran popularidad en los últimos años en otros deportes como el fútbol, baloncesto o voleibol. No hay prácticamente investigación de los efectos de este suplemento en tenis masculino y aún menos en el tenis femenino. Ser partícipe en una intervención controlada sobre este tema, me ha permitido aprender más sobre la nutrición deportiva y he contribuido a investigar sobre un tema del que apenas hay estudios, ampliando así mi formación y desarrollando competencias experimentales y organizativas que me ayudarán en un futuro profesional. Asimismo, este trabajo me ha permitido desarrollar competencias relacionadas con la recogida y análisis de datos, la interpretación de resultados científicos dentro de un contexto de investigación, aspectos que considero importantes para seguir creciendo tanto a nivel académico como profesional.

## Marco teórico

El tenis es un deporte jugado mundialmente por aproximadamente 106 millones de practicantes a nivel global (International Tennis Federation, 2024), siendo un deporte de raqueta de carácter intermitente que destaca por la combinación de acciones de alta intensidad (e.g. sprints, cambios de dirección, saltos), alternados con periodos de moderada a baja intensidad (Zhou et al., 2024). En esta modalidad de raqueta, los jugadores de tenis pueden participar en distintas categorías, entre las que se incluyen: individual, dobles y mixtos (Spring et al., 2020). A nivel físico, los tenistas de competición deben presentar una adecuada capacidad aeróbica, reflejada en valores moderados-altos de consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) que les permita sostener esfuerzos intermitentes durante partidos que pueden prolongarse entre 1 y 5 horas. (Fernández-Fernández et al., 2009). Durante la competición, la frecuencia cardiaca suele situarse en torno al 70–80% de la frecuencia cardiaca máxima, lo que indica una exigencia cardiovascular de intensidad moderada mantenida en el tiempo, desempeñando el metabolismo aeróbico desempeña un papel relevante, especialmente en la recuperación entre puntos (Kovacs, 2006; Girard & Millet, 2009). Sin embargo, a pesar de esta base aeróbica, las acciones determinantes del rendimiento en tenis son predominantemente de naturaleza neuromuscular (Sandoval et al., 2025). Los desplazamientos explosivos, los cambios de dirección, la capacidad de aceleración y desaceleración, así como la ejecución de los golpes, dependen en gran medida de la capacidad de generar fuerza y potencia en cortos intervalos de tiempo. Estas acciones se sustentan principalmente en el metabolismo anaeróbico, a través, por tanto, el rendimiento en tenis está condicionado en gran medida por la eficiencia del sistema neuromuscular para producir acciones rápidas, potentes y repetidas a lo largo del partido.

Desde el punto de vista neuromuscular, el rendimiento físico en el tenis de competición está estrechamente relacionado con la capacidad de generar fuerza de forma rápida y repetida (Kovacs, 2007). Entre los factores que se han visto determinantes del rendimiento a nivel físico en tenistas podemos mencionar velocidad en distancias cortas, valores fuerza/potencia muscular, la velocidad de servicio (Girard & Millet, 2009) o la agilidad (Roetert et al., 1992). Por tanto, el rendimiento en

Tenis depende de factores cardiovasculares, y factores neuromusculares, vinculados a la producción de fuerza y potencia muscular, lo que justifica la necesidad de un entrenamiento específico orientado al desarrollo integrado de ambas capacidades (Kovacs, 2006; Girard & Millet, 2009). Debido a las altas intensidades del tenis mencionadas con anterioridad, hay otros factores que pueden influir en el rendimiento deportivo en tenis como el estrés térmico (Périard et al., 2014), la calidad y cantidad del sueño (Lever et al., 2021), aspectos cronobiológicos (López-Samanes et al., 2017) o aspectos nutricionales con relación con los periodos de entrenamiento/competición (López-Samanes et al., 2015).

En relación a los suplementos dietéticos es interesante reseñar que solamente unos pocos suplementos dietéticos han mostrado una evidencia moderada-alta cuando son utilizadas en ciertos contextos específicos entre las que podemos mencionar; la cafeína, la creatina, el bicarbonato sódico, la beta alanina y el zumo de remolacha (Maughan et al, 2018). Dentro de las mencionadas, la beta alanina es un aminoácido no esencial empleado por el cuerpo para sintetizar carnosina dentro del músculo (Trexler et al., 2015) siendo un dipéptido formado por beta alanina y l-histidina que actúa como amortiguador de pH dentro de las fibras musculares, con especial relevancia en actividades de alta intensidad, donde la acumulación de hidrogeniones ( $H^+$ ), puede acidificar el músculo y conducir a la fatiga (Artioli et al., 2010). Este tipo de ejercicio de alta intensidad implica una notable acumulación de  $H^+$  y un descenso del pH a nivel de la célula muscular, lo que genera un entorno metabólico que favorece el desarrollo de adaptaciones orientadas a mejorar la capacidad tampón del músculo (Harris et al., 2006; Hill et al., 2007). En este sentido, la suplementación con beta-alanina ha sido ampliamente investigada por su capacidad para incrementar los niveles de carnosina muscular, mejorando la capacidad tampón del músculo y retrasando la aparición de la fatiga durante esfuerzos de alta intensidad. La eficacia de esta estrategia depende principalmente de la dosis total ingerida y de la duración del protocolo (Trexler et al., 2015; Li et al., 2024). De forma general, ingestas diarias de entre 4 y 6 g durante periodos de 4 a 8 semanas han demostrado ser eficaces para aumentar significativamente la carnosina intramuscular y mejorar el rendimiento físico. En modalidades deportivas, es habitual emplear dosis de entre 3.2 y 6.4  $g \cdot día^{-1}$ , ajustadas en función de la tolerancia individual y de los objetivos del entrenamiento (Li et al., 2024). Como alternativa, algunos protocolos utilizan dosis más bajas ( $\approx 1,2$

g·día<sup>-1</sup>) como mantenimiento, durante periodos más prolongados, con el objetivo de promover una acumulación progresiva de carnosina y minimizar efectos secundarios como la parestesia (Stegen et al., 2014) Este enfoque puede integrarse dentro de estrategias de carga orientadas a mantener niveles elevados de carnosina muscular a lo largo del tiempo. La suplementación con beta-alanina ha sido estudiada principalmente en deportes de equipo como el fútbol (Saunders et al., 2012), el baloncesto (Millioni et al., 2017) o el voleibol (Guo y Wang, 2024), donde los esfuerzos intermitentes de alta intensidad son determinantes del rendimiento, sin embargo, en deportes de raqueta, y específicamente en el tenis, la evidencia científica es aún inexistente o muy limitada (Vicente-Salar et al., 2025).

## **Objetivos e hipótesis**

### **Objetivo:**

Determinar si la ingesta de 4.8 gramos diarios de beta alanina durante 4 semanas producen mejoras significativas en el rendimiento neuromuscular y cardiovascular en jugadores de tenis

### **Hipótesis**

La suplementación crónica con beta-alanina mejorará el rendimiento neuromuscular y cardiovascular, en aspectos como la capacidad de repetir sprints (RSA) o el rendimiento cardiovascular ( $VO_{2max}$ ).

## **Métodos**

### **Participantes**

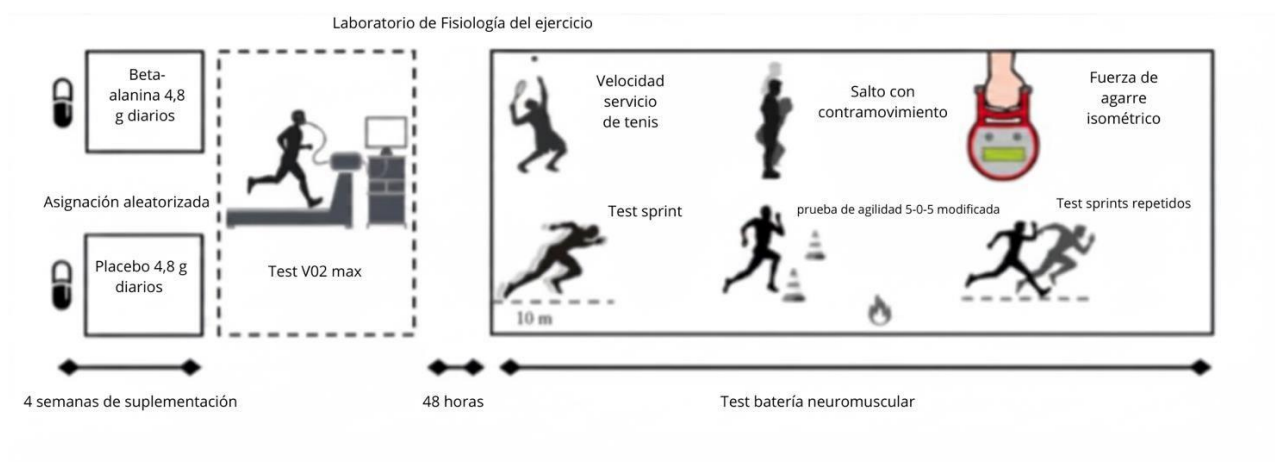
En el estudio participaron 14 jugadores masculinos de tenis de alto nivel competitivo, todos ellos clasificados entre los 200 mejores jugadores de categoría absoluta según el ranking de la Real Federación Española de Tenis. Los participantes presentaron las siguientes características: (edad:  $23.29 \pm 3.69$  años, peso corporal:  $74.73 \pm 6.81$  kg, talla:  $1.81 \pm 0.07$  m, índice de masa corporal (IMC) ( $22.95 \pm 1.49$  kg·m<sup>-2</sup>, experiencia deportiva ( $14.93 \pm 3.38$  años) y un volumen de entrenamiento semanal de  $14.00 \pm 2.36$  horas/semanales. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Francisco de Vitoria (nº 46/2023) y se llevó a cabo conforme a los principios establecidos en la Declaración de Helsinki.

### **Diseño experimental**

Se llevó a cabo un estudio experimental de 4 semanas de duración con un diseño aleatorizado, paralelo y doble ciego. Los participantes fueron asignados de manera aleatoria a uno de los dos grupos experimentales: grupo beta-alanina (n = 7) o grupo placebo (n = 7), para realizar la aleatorización utilizaron un software específico ([www.randomizer.org](http://www.randomizer.org)). Un investigador independiente fue el encargado de generar la secuencia de aleatorización y asignar códigos alfanuméricos a cada condición, garantizando el enmascaramiento tanto de los participantes como de los investigadores durante todo el estudio. Los criterios de inclusión fueron: (i) tener una edad comprendida entre 18 y 35 años y (ii) estar clasificado entre los puestos 50 y 200 del ranking nacional absoluto. Por su parte, los criterios de exclusión incluyeron: (i) haber sufrido lesiones musculares en el mes previo al estudio, (ii) presentar intolerancia o efectos adversos asociados a la suplementación con beta-alanina y (iii) no cumplir con el nivel competitivo requerido (jugadores amateurs). La suplementación se administró en forma de comprimidos idénticos en apariencia, tamaño y peso para ambas condiciones, con el objetivo de preservar el doble ciego. Un grupo recibió 4.8 gramos de beta-alanina en forma de pastillas (Crown Nutrition®, Haro, España), mientras que el grupo placebo ingirió un compuesto inerte como 4.8 gramos de sacarosa (Crown Nutrition®, Haro, España). La ingesta fue supervisada por los investigadores para asegurar el cumplimiento del protocolo. Previamente al inicio del estudio, los participantes realizaron una sesión de familiarización en la que se

les explicó detalladamente el protocolo experimental y completaron la batería de pruebas, con el objetivo de minimizar posibles efectos de aprendizaje. Asimismo, todas las evaluaciones se llevaron a cabo bajo condiciones estandarizadas: en el mismo orden, a la misma hora del día (10:00 horas) y en las mismas instalaciones donde los jugadores entrenaban habitualmente, con el fin de reducir la influencia de los ritmos circadianos (López-Samanes et al.,2017) .Pre y post 4-semanas de suplementación los participantes completaron una batería de pruebas neuromusculares consistente en un test de velocidad servicio, salto con contramovimiento, fuerza isométrica, test de cambio de dirección (5-0-5), sprints repetidos y un test de consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2max</sub>). Durante todas las sesiones se registraron las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) mediante una estación meteorológica portátil (Küken, España) para garantizar la consistencia entre evaluaciones.

**Figura 1. Diseño Experimental**



### Protocolo experimental

Los participantes recibieron comprimidos que contenían beta-alanina o placebo, suministrados en envases idénticos para garantizar el mantenimiento del doble ciego. El suplemento utilizado fue beta alanine slow absorption (Crown Sport Nutrition®, La Rioja, España). Cada comprimido del grupo BA contenía 800 mg de beta-alanina junto con excipientes (e.g. hidroxipropilmetilcelulosa) Por su parte, los comprimidos placebo contenían una sustancia inerte compuesta por fructosa y excipientes (e.g. celulosa), siendo indistinguibles en apariencia, tamaño y peso respecto a los comprimidos del

grupo experimental. Los participantes del grupo beta-alanina ingirieron una dosis diaria de 4.8 gramos de beta-alanina, dividida en tres tomas de 1.6 g administradas aproximadamente cada 4–5 horas. Esta estrategia de fraccionamiento tuvo como objetivo minimizar la aparición de parestesia, el efecto secundario más común asociado con la suplementación con beta-alanina. Los participantes del grupo placebo consumieron el mismo número de comprimidos diarios (i.e., 6 comprimidos diarios) siguiendo una pauta idéntica. Un único investigador fue responsable de la distribución de los suplementos, mientras que los entrenadores de los jugadores supervisaron la adherencia durante todo el periodo de intervención y registraron la carga de entrenamiento para asegurar la consistencia del estímulo. Previamente al inicio del estudio, los participantes realizaron una sesión de familiarización en la que se les explicaron detalladamente los procedimientos experimentales y completaron la batería de pruebas con el fin de reducir posibles efectos de aprendizaje. Todas las evaluaciones se llevaron a cabo bajo condiciones estandarizadas, manteniendo el mismo orden de las pruebas, a la misma hora del día y en las mismas instalaciones donde los jugadores entrenaban habitualmente, con el objetivo de minimizar la influencia de factores externos como los ritmos circadianos. Antes y después del periodo de suplementación (pre y post intervención), los participantes completaron una batería de pruebas específicas de rendimiento en tenis, siguiendo las recomendaciones de la literatura (Fernández-Fernández et al., 2012; Girard y Millet, 2009; Ulbricht et al., 2016). Esta incluyó la evaluación de la velocidad de saque, la fuerza y potencia del tren inferior mediante salto con contramovimiento (CMJ), la fuerza isométrica de prensión manual en la mano dominante, la velocidad lineal en 10 m, la capacidad de cambio de dirección (test 5-0-5), así como el rendimiento en sprints repetidos con cambios de dirección. para garantizar una adecuada recuperación y evitar la fatiga acumulada. Adicionalmente, antes del inicio del protocolo de suplementación, todos los participantes realizaron una prueba incremental máxima en cinta rodante para la determinación del consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\text{max}$ ), mediante un analizador de gases respiratorios, con el fin de caracterizar el perfil aeróbico de la muestra.

## **Velocidad de saque y test de fuerza/ potencia del tren inferior mediante salto con contramovimiento**

La velocidad de saque se evaluó mediante un radar portátil (Pocket Radar Ball Coach PR1000BC, República de Corea); (Hernández-Belmonte & Sánchez-Pay, 2021), configurado en modo continuo para registrar la velocidad máxima de la pelota dentro de un rango de 40–210 km·h<sup>-1</sup>. El dispositivo se situó en el eje central de la línea de fondo, aproximadamente a 4 m detrás del jugador, alineado con la altura estimada del punto de impacto (~2,2 m) y orientado hacia el centro de la pista para maximizar la precisión de la medición. Previamente a la evaluación, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado que incluyó movilidad dinámica del complejo del hombro, cinco saques a intensidad moderada (~50%) y cinco saques submáximos, siguiendo protocolos previamente validados (Fernández-Fernández et al., 2011). Posteriormente, cada jugador ejecutó un total de 10 saques máximos dirigidos a cuatro zonas específicas del cuadro de servicio (dos abiertos y dos hacia la “T”), ubicadas en el lado diagonal opuesto. Para el análisis estadístico, se consideró la velocidad media de los cinco saques más rápidos, con el fin de obtener una medida representativa del rendimiento máximo en esta habilidad. La potencia muscular del tren inferior se evaluó mediante el salto con contramovimiento (CMJ), utilizando un sistema óptico infrarrojo (Optojump, Microgate, Italia), de acuerdo con la metodología clásica descrita por Bosco et al. (1983). Los participantes realizaron tres saltos máximos con una recuperación pasiva de 45 segundos entre intentos. Durante la ejecución, se mantuvieron las manos en la cadera para minimizar la contribución de las extremidades superiores y asegurar la estandarización del gesto. Se registró la mayor altura alcanzada (cm) como variable principal, considerada un indicador válido y fiable de la capacidad explosiva del tren inferior en jugadores de tenis (Roetert et al., 1992).

## **Test de fuerza isométrica de la mano dominante y test de cambio de dirección (5-0-5)**

La fuerza isométrica manual se evaluó en la mano dominante mediante un dinamómetro calibrado (Takei 5101, Tokio, Japón). Los participantes adoptaron una posición estandarizada, con el hombro en posición neutra (0° de flexión), el codo

completamente extendido y el antebrazo y la muñeca en posición neutra. Se realizaron dos contracciones voluntarias isométricas máximas, separadas por un breve periodo de recuperación, registrándose el valor más alto (kg) para el análisis posterior. La capacidad de cambio de dirección se evaluó mediante el test 5-0-5, utilizando un sistema de fotocélulas eléctrica (Microgate, Italia). Se empleó una versión modificada del protocolo original con salida estacionaria (Gallo-Salazar et al., 2017). Los participantes comenzaron desde una posición estática, con el pie adelantado situado a 1 metro por detrás de la línea de salida, que activaba el cronómetro al iniciar el movimiento. Cada sujeto realizó dos intentos pivotando sobre cada pierna (dominante y no dominante), sin el uso de raqueta, registrándose el mejor tiempo de cada lado para el análisis. Este test, ampliamente utilizado y validado en deportes de invasión y de raqueta, permite evaluar de forma integrada la aceleración, la fuerza reactiva y el control neuromuscular durante cambios de dirección de 180°, capacidades fundamentales en tenis, donde este tipo de acciones representa un alto porcentaje de los desplazamientos en pista (Fernández-Fernández et al., 2014; Sheppard y Young, 2006).

### **Sprint 10 m y Test de sprints repetidos**

La velocidad lineal en corta distancia se evaluó mediante un sprint de 10 metros, utilizando un sistema de fotocélulas (Microgate, Italia). colocadas a una altura de aproximadamente 1 m para asegurar la detección del tronco durante el paso. Los participantes iniciaron desde una posición estática, con el pie adelantado situado a 50 cm por detrás de la primera célula fotoeléctrica. Cada jugador realizó dos intentos máximos, con un periodo de recuperación pasiva de 60 segundos entre repeticiones, registrándose el mejor tiempo en segundos para el análisis posterior. Este protocolo ha demostrado ser válido y fiable para la evaluación de la aceleración inicial en deportes intermitentes como el tenis (López-Samanes et al., 2017).

La capacidad para realizar esfuerzos repetidos de alta intensidad se evaluó mediante un test de sprints repetidos consistente en diez sprints de 22 m (5 m + 11 m + 5 m), integrando cambios de dirección de 180° en la pista de tenis (Bishop et al., 2011). Cada repetición se inició desde posición estática y fue registrada mediante el mismo sistema de células fotoeléctricas (Microgate, Italia), garantizando una alta precisión temporal. Los participantes dispusieron de 15 segundos de recuperación pasiva entre sprints,

manteniendo una ratio trabajo: descanso representativo de las demandas intermitentes del tenis. Para el análisis del rendimiento en el RSA se calcularon: (i) el tiempo medio de los sprints (RSA<sub>mean</sub>), como indicador del rendimiento global, y (ii) el índice de fatiga o porcentaje de decremento (RSA<sub>dec</sub>), calculado mediante la fórmula: RSA<sub>dec</sub> (%) = [(tiempo total / (mejor tiempo × número de sprints)) - 1] × 100 (Bishop et al., 2011).

### **Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub> Max)**

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max) se determinó mediante una prueba incremental máxima en tapiz rodante, utilizando un sistema de análisis de gases respiración a respiración (Ergostik, Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Alemania), calibrado antes de cada sesión conforme a las recomendaciones del fabricante. Previamente a la prueba, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 5 minutos en cinta a 6 km / hora, seguido de una breve transición al tapiz rodante. El protocolo incremental comenzó a una velocidad inicial de 9 km·h<sup>-1</sup> con una inclinación constante del 1%, seleccionada para simular el coste energético de la carrera en condiciones exteriores (Jones & Doust, 1996). A partir de ese punto, la velocidad se incrementó progresivamente cada 25 segundos hasta el agotamiento voluntario del participante. Durante toda la prueba, los sujetos fueron animados verbalmente para alcanzar el máximo esfuerzo. El VO<sub>2</sub>max se definió como el valor más alto de consumo de oxígeno registrado en promedios consecutivos durante la prueba. Para confirmar la consecución de un esfuerzo máximo, se consideraron los criterios clásicos descritos en la literatura: (i) la presencia de una meseta en el VO<sub>2</sub> pese al incremento de la carga de trabajo (incremento <150 mL·min<sup>-1</sup>), (ii) un cociente respiratorio (RER) ≥ 1,10, (iii) alcanzar una frecuencia cardiaca máxima (Midgley et al., 2007)

### **Análisis estadístico**

Los datos se presentan como media ± desviación estándar (media ± DE). La normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente. Se llevó a cabo un análisis de varianza de medidas repetidas de dos factores (ANOVA), intra-sujeto (tiempo: pre vs. post) inter-sujeto (grupo: beta-alanina vs. placebo) y la interacción (grupo × tiempo) en las variables

analizadas (velocidad de saque, salto con contramovimiento, fuerza de prensión manual, velocidad en 10 m, test 5-0-5 modificado, capacidad de sprints repetidos y  $VO_{2max}$ ). El tamaño del efecto para el ANOVA se estimó mediante la eta cuadrada parcial ( $\eta p^2$ ), interpretándose como pequeño  $\geq 0.01$ ; moderado  $\geq 0.06$ ; grande  $\geq 0.14$ ), mientras que para las comparaciones por pares se calculó la d de Cohen, interpretada como trivial (0.01), pequeño (0.20), moderado (0.50), grande (0.80), muy grande (1.20) y extremadamente grande (2.0) (Cohen,1988). El nivel de significación estadística se estableció en  $p \leq 0.05$ . Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Jamovi (versión 2.3.28.0).

## Resultados

Tabla 1. Condición física antes y después de la suplementación.

			Mean ± SD	Efecto grupo			Efecto del tiempo			Grupo-tiempo		
				F	p-valor	η <sup>2</sup>	F	p-valor	η <sup>2</sup>	F	p-valor	η <sup>2</sup>
Velocidad servicio (m/s)	Beta-alanina	PRE	173.86 ± 6.89									
	control	POST	174.66 ± 6.82	0.84635	0.367	0.034	0.00351	0.953	0.000	0.05260	0.821	0.002
		PRE	177.04 ± 8.78									
	POST	176.57 ± 6.65										
Beta-alanina	PRE	36.89 ± 5.26										
CMJ (cm)	control	POST	36.99 ± 5.02	1.3223	0.262	0.052	0.0572	0.813	0.002	0.0860	0.772	0.003
		PRE	35.30 ± 4.04									
	POST	34.31 ± 5.17										
	Beta-alanina	PRE	55.79 ± 7.78									
Fuerza de agarre manual (kg)	control	POST	54.90 ± 8.90	0.12332	0.729	0.005	0.12332	0.729	0.005	0.241	0.952	0.000
		PRE	54.90 ± 8.53									
	POST	53.64 ± 6.93										
	Beta-alanina	PRE	1.77 ± 0.04									
Velocidad 10 m(m/s)	control	POST	1.80 ± 0.08	0.652	0.427	0.025	0.745	0.397	0.029	0.280	0.602	0.011
		PRE	1.80 ± 0.09									
	POST	1.81 ± 0.05										
	Beta-alanina	PRE	2.70 ± 0.10									
Test cambio dirección (m/s)	control	POST	2.74 ± 0.09	0.00837	0.928	0.000	0.09677	0.758	0.004	0.61915	0.439	0.025
		PRE	2.73 ± 0.12									
	POST	2.71 ± 0.09										
	Beta-alanina	PRE	5.11 ± 0.16									

RSA (m/s)	control	POST	5.02 ± 0.07	7.680	<b>0.011*</b>	0.228	0.580	<b>0.044*</b>	0.017	1.400	<b>0.042*</b>	0.248
		PRE	5.18 ± 0.09									
			POST	5.20 ± 0.12								
Beta-alanina			PRE	54.91 ± 4.96								
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	control	POST	55.19 ± 6.16	0.31012	0.583	0.013	0.001	0.974	0.000	0.001	0.929	0.000
		PRE	53.89 ± 6.25									
		POST	53.76 ± 5.88									
		PRE										

## Discusión

El objetivo de este trabajo fin de grado tuvo como objetivo analizar los efectos de la suplementación crónica con beta-alanina (4.8 g/día durante 4 semanas) sobre el rendimiento neuromuscular y cardiovascular en tenistas de alto nivel. Los resultados muestran diferencias significativas en el tiempo medio de la prueba de sprints repetidos mejorando con beta-alanina frente al placebo, mientras que no se observan cambios significativos en velocidad de saque, salto con contramovimiento, fuerza isométrica manual, sprint de 10 m, test 5-0-5, ni  $VO_{2\text{máx}}$ . Estos hallazgos indican que la beta-alanina puede potenciar la capacidad para esfuerzos intermitentes repetidos, claves en tenis, sin alterar acciones explosivas únicas o la capacidad aeróbica.

La velocidad de saque es una variable determinante en el rendimiento tenístico, ya que el saque inicia todos los puntos y constituye uno de los golpes más importantes para el éxito en competición (Fett et al., 2021). Referente a nuestro estudio no hubo diferencias significativas en velocidad de saque entre la condición experimental y placebo entre ambas condiciones. Estos resultados difieren parcialmente de los obtenidos por Claus et al., (2017), quienes observaron mejoras en la velocidad de lanzamiento durante pruebas de sprint repetido en jugadores jóvenes de waterpolo tras seis semanas de suplementación con beta-alanina. Esta diferencia podría explicarse por las características específicas de cada gesto deportivo, mientras que en waterpolo los lanzamientos fueron realizados repetidamente bajo condiciones de fatiga, en nuestro estudio la velocidad de saque se evaluó mediante acciones aisladas, donde la acumulación de metabolitos y la acidosis muscular probablemente no constituyen el principal factor limitante del rendimiento. Además, el saque en tenis depende en gran medida de factores técnicos y coordinativos, además de la capacidad neuromuscular explosiva.

El salto con contramovimiento (CMJ) es considerado un indicador válido de la capacidad explosiva del tren inferior, relacionada con acciones como aceleraciones, cambios de dirección y producción de fuerza durante el saque y los golpes ofensivos (Ulbricht et al., 2015; Bonato et al., 2014). Además, diversos estudios han señalado que la producción de fuerza del tren

inferior contribuye a la transferencia de energía durante el servicio y otros gestos técnicos del tenis (Bonato et al., 2014). Por otro lado, la fuerza isométrica manual se ha relacionado con la estabilidad y control de la raqueta, así como con la capacidad de transmisión de fuerza durante los golpes, mostrando asociación con variables de rendimiento específicas en tenistas (Bonato et al., 2014). En nuestro estudio no se observaron mejoras significativas tras la suplementación con beta-alanina ni en el salto con contramovimiento, ni en la fuerza isométrica manual. Estos resultados coinciden con la literatura científica previa, que sugiere que la suplementación con beta-alanina presenta efectos limitados sobre acciones explosivas únicas y sobre la producción máxima de fuerza y potencia muscular, mostrando mayores beneficios en esfuerzos intermitentes y repetidos de alta intensidad (Hobson et al., 2012).

La capacidad de cambios de dirección es una cualidad física fundamental en el tenis, ya que durante los partidos los jugadores realizan desplazamientos cortos, aceleraciones y frenadas constantes para responder a las demandas del juego (Kovacs, 2006). Además, se ha observado que una gran parte de los desplazamientos en tenis son inferiores a 5 metros e implican cambios rápidos de dirección, lo que convierte a la agilidad y la capacidad de desaceleración-aceleración en factores determinantes del rendimiento (Fernández-Fernández et al., 2014). En el presente estudio no se observaron mejoras significativas en el test de cambio de dirección tras la suplementación con beta-alanina. Estos resultados coinciden con investigaciones previas que sugieren que la beta-alanina presenta efectos limitados sobre acciones explosivas aisladas y capacidades neuromusculares dependientes de factores técnicos y coordinativos, mostrando mayores beneficios en esfuerzos repetidos de alta intensidad (Hobson et al., 2012). La ausencia de mejoras podría explicarse porque el rendimiento en cambios de dirección depende en gran medida de la fuerza reactiva, la coordinación neuromuscular y la técnica de desplazamiento, más que de mecanismos relacionados con la acumulación de metabolitos y la fatiga muscular.

La capacidad de realizar sprints repetidos (RSA) es una cualidad determinante en el tenis, ya que este deporte se caracteriza por esfuerzos intermitentes de alta intensidad, con aceleraciones y cambios de dirección repetidos durante puntos prolongados y peloteos intensos (Girard & Millet, 2009). La capacidad de mantener el

rendimiento en acciones explosivas repetidas con recuperaciones incompletas resulta fundamental para sostener el nivel de juego durante el partido (Fernández-Fernández et al., 2014). En el presente estudio se observaron mejoras significativas en el rendimiento de la prueba RSA tras la suplementación con beta-alanina. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Claus et al. (2017), quienes observaron mejoras en la velocidad de lanzamiento durante pruebas de sprint repetido y en el rendimiento de 200 m en jóvenes jugadores de waterpolo tras la suplementación con beta-alanina. Tanto en el estudio de Claus et al. (2017) como en el presente trabajo, las mejoras parecen estar relacionadas con la capacidad de la beta-alanina para aumentar la carnosina intramuscular y retrasar la aparición de la fatiga durante esfuerzos repetidos de alta intensidad, característica común tanto del waterpolo como del tenis competitivo. Finalmente, el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ) es uno de los principales indicadores de la capacidad aeróbica y resulta importante en tenis para favorecer la recuperación entre puntos y mantener el rendimiento durante partidos prolongados caracterizados por esfuerzos intermitentes de alta intensidad (Kovacs, 2006). En el presente estudio no se observaron mejoras significativas en el  $VO_{2m\acute{a}x}$  tras la suplementación con beta-alanina. Algunas de las limitaciones del estudio fueron el reducido tamaño muestral, que puede haber limitado la capacidad para detectar diferencias en determinadas variables de rendimiento, una duración relativamente corta del protocolo de suplementación, la exclusión de mujeres tenistas de alto nivel competitivo, que limita la generalización de los resultados a otros perfiles de deportistas y la ausencia de medición en situaciones de juego real como partidos.

## **Conclusiones**

En conclusión, la suplementación con beta-alanina durante cuatro semanas mejoró la capacidad de realizar esfuerzos repetidos de alta intensidad en tenistas de alto nivel, mostrando beneficios en la prueba de sprints repetidos. Sin embargo, no produjo mejoras significativas en variables explosivas como la velocidad de saque, el salto con contramovimiento, la fuerza manual, los cambios de dirección ni en la capacidad aeróbica máxima. Estos resultados sugieren que la beta-alanina podría ser una ayuda ergogénica útil principalmente para retrasar la fatiga en esfuerzos intermitentes repetidos característicos del tenis competitivo.

## Referencias bibliográficas

Artioli, G. G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J., & Lancha, A. H., Jr. (2010). Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1162–1173. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c74e38>

Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010). Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 495–503. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1225-0>

Bishop, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability—Part II: Recommendations for training. *Sports Medicine*, 41(9), 741–756. <https://doi.org/10.2165/11590560-00000000000000>

Bonato, M., Maggioni, M. A., Rossi, C., Rampichini, S., La Torre, A., & Merati, G. (2015). Relationship between anthropometric or functional characteristics and maximal serve velocity in professional tennis players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(10), 1157–1165.

Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50(2), 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>

Brisola, G. M. P., Zagatto, A. M., Felipe, L. J., et al. (2018). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on physical performance in water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 483–490.

Claus, G. M., Redkva, P. E., Brisola, G. M. P., Malta, E. S., de Araujo Bonetti de Poli, R., Miyagi, W. E., & Zagatto, A. M. (2017). Beta-Alanine Supplementation Improves Throwing Velocities in Repeated Sprint Ability and 200-m Swimming Performance in Young Water Polo Players. *Pediatric exercise science*, 29(2), 203–212. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0176>

Estevan Navarro, P., González-Díaz, C., García Pérez, R., Gil-Izquierdo, A., García,

physiological effects of sports supplements: Implications for advertising and consumer information. *Nutrients*, 17(16), 2706. <https://doi.org/10.3390/nu17162706>

Everaert, I., Stegen, S., Vanheel, B., Taes, Y., & Derave, W. (2011). Effect of beta-alanine and carnosine supplementation on muscle contractility in mice. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(1), 43–51. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e9aa9d>

Fernández-Fernández, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2014). Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *British Journal of Sports Medicine*, 48(Suppl 1), i22–i31.

Fernández-Fernández, J., Zimek, R., Wiewelhove, T., & Ferrauti, A. (2011). High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3292–3301.

Fett, J., Ulbricht, A., Wiewelhove, T., & Ferrauti, A. (2021). *Kinematic characteristics of the tennis serve from the ad and deuce court service positions in elite junior players*. *Sports*, 9(7), 97. <https://doi.org/10.3390/sports9070097>

Ghiasvand, F., et al. (2012). Effect of  $\beta$ -alanine supplementation on aerobic capacity and performance in athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9, 1–7.

Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Physical determinants of tennis performance in competitive teenage players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1867–1872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b3df89>

Guo, W., & Wang, S. (2024). *Physiological and performance adaptations to beta alanine supplementation and short sprint interval training in volleyball players*. *Scientific Reports*, 14, 16833. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67974-y>

Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., et al. (2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30(3), 279–289. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0299-9>

Hernández-Belmonte, A., & Sánchez-Pay, A. (2021). *Concurrent validity, inter-unit reliability and biological variability of a low-cost pocket radar for ball velocity measurement in soccer and tennis*. *Journal of Sports Sciences*, 39(12), 1312–1319.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1868090>

Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., et al. (2007). Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high-intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32(2), 225–233. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0364-4>

Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on exercise performance: A meta-analysis. *Amino Acids*, 43(1), 25–37.

Hoffman, J. R., Varanoske, A., & Stout, J. R. (2018). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on carnosine elevation and physiological performance. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 183–206. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.12.003>

International Tennis Federation. (2023). *Rules of tennis 2023*. ITF Ltd. <https://www.itftennis.com/en/about-us/governance/rules-and-regulations/>

Kovacs, M. S. (2006). Applied physiology of tennis performance. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 381–386. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.023309>

Lever, J. R., Murphy, A. P., Duffield, R., & Fullagar, H. H. K. (2021). A combined sleep hygiene and mindfulness intervention to improve sleep and well-being during high-performance youth tennis tournaments. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(2), 250–258. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-1008>

Li, G., Li, Z., & Liu, J. (2024). Amino acids regulating skeletal muscle metabolism: Mechanisms and exercise implications. *Nutrition & Metabolism*, 21, 41. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00820-0>

López-Samanes, A., Ortega Fonseca, J. F., Fernández Elías, V. E., et al. (2015). Nutritional ergogenic aids in tennis: A brief review. *Strength & Conditioning Journal*, 37(3), 1–11. <https://doi.org/10.1519/SSC.000000000000141>

López-Samanes, Á., Moreno-Pérez, D., Maté-Muñoz, J. L., et al. (2017). Circadian rhythm effect on physical tennis performance in trained male players. *Journal of Sports Sciences*, 35(21), 2121–2128. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1258481>

Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., et al. (2018). IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 52(7), 439–455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

Milioni, F., Zagatto, A. M., Barbieri, R. A., Andrade, V. L., dos Santos, J. W., Gobatto, C. A., & Papoti, M. (2017). Six weeks of  $\beta$ -alanine supplementation did not enhance repeated-sprint ability or technical performances in young elite basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 38(5), 331–337.

Ojeda, Á. H., et al. (2020). Effects of  $\beta$ -alanine supplementation on sports performance: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 12(9), 2495.

Roetert, E. P., McCormick, T., Brown, S. W., & Turrin, J. F. (1992). Relationship between serve speed and anthropometric measures for tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 10(3), 335–342.

Roetert, E. P., Garrett, G. E., Brown, S. W., & Camaione, D. N. (1992). Performance profiles of nationally ranked junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 6(4), 225–231.

Sale, C., Saunders, B., & Harris, R. C. (2010). Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids*, 39(2), 321–333. <https://doi.org/10.1007/s00726-009-0443-7>

Sandoval, I., Colomar, J., Corbi, F., & Baiget, E. (2025). Effects of 6-week flywheel resistance training on tennis serve velocity and accuracy. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 65(12), 1590–1598. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.25.16732-7>

Saunders, B., Sunderland, C., Harris, R. C., & Sale, C. (2012).  $\beta$ -alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9, 39. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-39>

Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., et al. (2017).  $\beta$ -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(8), 658–669.

Spring, K. E., Holmes, M. E., & Smith, J. W. (2020). Long-term tennis participation and

health outcomes. *International Journal of Exercise Science*, 13(7), 1251–1261.

Stegen, S., Bex, T., Vervaet, C., Vanhee, L., Achten, E., & Derave, W. (2014). The beta-alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(7), 1426–1432. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000248>

Thompson, C., Wylie, L. J., Fulford, J., et al. (2015). Dietary nitrate improves sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 115(9), 1825–1834.

Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., et al. (2015). International Society of Sports Nutrition position stand: Beta-alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12, 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0090-y>

Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2015). Impact of fitness characteristics on tennis performance in elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989–998. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001267>

Zhou, Z., Xin, C., Zhao, Y., & Wu, H. (2024). The effect of multi-directional sprint training on change-of-direction speed and reactive agility of collegiate tennis players. *PeerJ*, 12, e18263. <https://doi.org/10.7717/peerj.18263>