



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud

Ensayo clínico aleatorizado doble ciego para analizar la
eficacia de la suplementación de β -alanina a corto plazo a
nivel fisiológico y de rendimiento de los ciclistas de
resistencia profesional de carretera

Autor:

Silvia Pérez Piñero

Directores:

Dr. D. Francisco Javier López Román

Dr. D. Vicente Ávila Gandía

Murcia, diciembre de 2021



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud

Ensayo clínico aleatorizado doble ciego para analizar la
eficacia de la suplementación de β -alanina a corto plazo a
nivel fisiológico y de rendimiento de los ciclistas de
resistencia profesional de carretera

Autor:

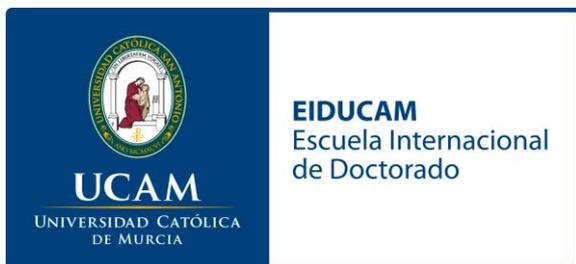
Silvia Pérez Piñero

Directores:

Dr. D. Francisco Javier López Román

Dr. D. Vicente Ávila Gandía

Murcia, diciembre de 2021



AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Francisco Javier López Román y el Dr. D. Vicente Ávila Gandía como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Ensayo clínico aleatorizado doble ciego para analizar la eficacia de la suplementación de β -alanina a corto plazo a nivel fisiológico y de rendimiento de los ciclistas de resistencia profesional de carretera” realizada por Dña. Silvia Pérez Piñero en el Programa en Ciencias de la Salud, **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 3 de noviembre de 2021

Dr. D. Fco. Javier López Román

Dr. D. Vicente Ávila Gandía

RESUMEN

Introducción. El ciclismo de carretera es uno de los deportes más exigentes que hay a nivel de resistencia, ya que requiere de grandes demandas fisiológicas y metabólicas tanto en las competiciones como en los entrenamientos. La β -alanina se está convirtiendo en uno de los suplementos con mayor evidencia científica en deportistas de alto nivel. Este aminoácido es el limitante de la formación de carnosina muscular, la cual tiene capacidad de tamponamiento intramuscular de hidrogeniones. Las dosis que hasta el momento se han utilizado en investigación con humanos son de alrededor de 6,4 g/día de β -alanina, ya que dosis más elevadas provocan el efecto secundario de las parestesias. Debido a esto se han creado fórmulas de liberación sostenida, con el objetivo de prolongar el aporte del principio activo al torrente sanguíneo, evitando con ello el aporte en el primer instante, causante de la aparición de las parestesias. Gracias a esta nueva fórmula se ha podido aumentar la dosis y con ello recortar los tiempos de ingesta para la obtención de rendimiento. Hasta la fecha, solo hay un estudio que utiliza dosis de 12 g/día durante 2 semanas.

El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia del consumo de 20 gramos/día de β -alanina durante una semana de entrenamiento intensivo, a nivel fisiológico y de rendimiento en dos pruebas de contrarreloj, una con limitación temporal y la otra con limitación de distancia en ciclistas profesionales de carretera.

Material y método. Ensayo clínico aleatorizado, controlado, doble ciego y unicéntrico, de dos ramas paralelas en función del producto consumido (producto experimental: β -alanina y producto placebo), para medir la eficacia sobre el rendimiento físico de un suplemento de β -alanina consumida durante 7 días en ciclistas profesionales.

Se llevaron a cabo dos tipos de contrarreloj, una de ellas con una duración de 10 minutos en condiciones de laboratorio y la segunda, con una distancia de 4,5 km en condiciones reales, subiendo el puerto del Coll de Rates, con una pendiente media del 5% y un desnivel de 255 metros.

Se midieron variables de rendimiento, variables bioquímicas y eventos adversos, con el objetivo de conocer si los ciclistas con consumo de producto

experimental mejoraban significativamente en comparación con el grupo con consumo de placebo.

Resultados. En la prueba de contrarreloj de 10 minutos, el grupo con consumo de β -alanina mejoró la potencia media un 6,21% en comparación con el grupo placebo ($p<0,046$). También se registró una mejora en la distancia recorrida, siendo un 2,16% mayor en el grupo de consumo de producto experimental después de la semana de consumo ($p<0,046$); y en el trabajo total, con una mejora del 4,85% ($p<0,046$). En las variables bioquímicas se vieron mejoras significativas en el grupo de consumo de β -alanina tras la semana de ingesta y de entrenamiento intensivo, tanto en el lactato ($p<0,036$) como en la brecha aniónica ($p<0,047$), sin diferencias en el pH o el bicarbonato.

En la prueba de contrarreloj de 4,5 km, el grupo que consumió producto experimental mejoró el tiempo en el que recorrió dicha distancia ($p<0,035$). El grupo placebo empeoró en 12 segundos mientras que el grupo de β -alanina mejoró en 30,1 segundos. También el grupo experimental mejoró de forma significativa en la potencia relativa ($p<0,033$). En relación con la potencia media, se observa una tendencia a la mejora del grupo experimental ($p=0,090$), ya que mejora en 21,4 W, mientras que el grupo placebo disminuyó tras dicha semana sus valores iniciales en 3,7 W.

El entrenamiento llevado a cabo durante la semana de consumo fue monitorizado y evaluado, no determinando diferencias significativas entre ambos grupos.

Las dosis empleadas en el estudio fueron bien toleradas sin que los ciclistas presentaran ninguna sintomatología de parestesia ni ningún evento adverso relacionado con el consumo del producto.

Conclusiones. El consumo de 20 g/día de producto en formato polvo de β -alanina de liberación sostenida durante una semana de entrenamiento intensivo conllevó a atenuar las pérdidas de rendimiento ocasionadas durante esa semana en la contrarreloj con limitación temporal. En la prueba de contrarreloj con limitación de distancia, se observaron mejoras significativas en las variables principales, determinando que el grupo con consumo de producto experimental

mejora con respecto al grupo placebo, obteniendo este último pérdidas de rendimiento tras la semana de entrenamiento y de consumo de placebo.

Palabras claves. Fisiología del ejercicio, aminoácidos, metabolismo energético

ABSTRACT

Introduction. Road cycling is one of the most demanding sports there is at the endurance level, as it requires high physiological and metabolic demands both in competitions and in training. The β -alanine is becoming one of the most used supplements by high-level athletes. This amino acid is the limiter of muscle carnosine formation, which has the capacity of intramuscular buffering of hydrogenions. The doses that have so far been used in human research are around 6.4 g/day of β -alanine, since higher doses cause the side effect of paresthesias. Because of this, sustained-release formulas have been created, with the aim of prolonging the delivery of the active ingredient into the bloodstream, thus avoiding the delivery in the first instant, which causes the onset of paresthesias. Thanks to this new formula, it has been possible to increase the dose and thus shorten the intake times for obtaining performance. To date, there is only one study using doses of 12 g/day for 2 weeks.

The objective of the study was to evaluate the efficacy of consuming 20 grams/day of β -alanine during a week of intensive training, at the physiological and performance level in two-time trial events, one with time limitation and the other with distance limitation in professional road cyclists.

Material and method. Randomized, controlled, double-blind, single-center clinical trial, with two parallel branches depending on the product consumed (experimental product: β -alanine and placebo product), to measure the efficacy on physical performance of a β -alanine supplement consumed for 7 days in professional cyclists.

Two types of time trial were carried out, one with a duration of 10 minutes in laboratory conditions and the second, with 4.5 km in real conditions, climbing the Coll de Rates pass, with an average gradient of 5% and a difference in altitude of 255 meters.

Performance variables, biochemical variables and adverse events were measured, with the aim of finding out if the cyclists with consumption of the

experimental product improved significantly in comparison with the group with placebo consumption.

Results. In the 10-minute time trial, the group with β -alanine consumption improved mean power by 6.21% compared to the placebo group ($p<0.046$). There was also an improvement in distance covered, being 2.16% greater in the experimental product consumption group after the week of consumption ($p<0.046$); and in total work, with an improvement of 4.85% ($p<0.046$). In biochemical variables, significant improvements were seen in the β -alanine consumption group after the week of intake and intensive training, both in lactate ($p<0.036$) and anion gap ($p<0.047$), with no differences in pH or bicarbonate.

In the 4.5 km time trial, the group that consumed the experimental product improved the time in which it covered this distance ($p<0.035$). The placebo group worsened by 12 seconds while the β -alanine group improved by 30.1 seconds. Also, the experimental group improved significantly in relative power ($p<0.033$). In relation to mean power, there was a tendency for the experimental group to improve ($p=0.090$), since it improved by 21.4 W, while the placebo group decreased its initial values by 3.7 W after that week.

The training carried out during the week of consumption was monitored and evaluated, and no significant differences were found between the two groups.

The doses used in the study were well tolerated without the cyclists presenting any symptoms of paresthesia or any adverse event related to the consumption of the product.

Conclusions. The consumption of 20 g/day of β -alanine sustained release powder during a week of intensive training led to attenuate the performance losses caused during that week in the time trial with time limitation. In the time trial with distance limitation, significant improvements were observed in the main variables, determining that the group with experimental product consumption improved with respect to the placebo group, the latter obtaining performance losses after the week of training and placebo consumption.

Key words. Exercise physiology, amino acids, energy metabolism

AGRADECIMIENTOS

Los grandes logros de cualquier persona generalmente dependen de muchas manos, corazones y mentes (Walter Elias Disney)

Esta tesis no podría darla por finalizada sin hacerle un guiño a Walt Disney. Quien me conoce sabe que no hay lugar en mi dónde no haya un Mickey o un personaje Disney. Y esta frase define perfectamente el momento en el que ahora mismo me encuentro.

Es difícil poder llegar al final de un camino y al comienzo del siguiente sin mirar atrás, sin parar a pensar que, gracias a mucha gente, hoy, es posible estar consiguiendo uno de los grandes pasos que daré en mi vida.

Cada persona con la que me he cruzado en el camino me ha aportado y me han hecho ser la persona que soy hoy, y a cada una de ellas les tengo que dar las gracias. Porque da igual si en algún momento he pensado que alguien era mejor que no estuviera en mi vida, todas me han hecho crecer como persona y como profesional.

En este momento quiero agradecer a los que realmente han dejado huella, a los que por mucho que pase el tiempo, el aporte en mi vida será imposible de borrar.

No sé por qué siempre dejamos para el final a los que quizás queremos agradecer en un primer momento, así que hoy me tomaré la libertad de empezar por el final. Sin ellos, hoy no estaría aquí, cerrando una etapa que tan sólo cuatro años atrás veía como un futuro lejano, incapaz de poder conseguirlo. Hace once años tomé una decisión, una decisión dura para todos (aunque para ellos un poquito más...), pero una de mis primeras grandes decisiones. Fue en ese momento cuando me di cuenta del verdadero significado de las palabras: padre, hermano, familia, y cuando realmente supe que la familia que tengo siempre estará, esté donde esté.

Gracias, papá y mamá, no sé ni las veces que les he dado las gracias, pero seguro que me quedo corta. Gracias por ser los principales promotores de mis

sueños, gracias por confiar y creer en mí y en mis expectativas cada día, por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de las palabras que me han ido guiando durante mi camino. Pero, sobre todo, gracias por estar dispuestos a acompañarme en cada paso, que, aun tropezando en la misma piedra, siempre tenéis las palabras justas y necesarias para levantarme y seguir adelante. Han sido unos meses un tanto complicados, gracias por entenderme, por apoyarme, por escucharme, por hacerme sentir orgullosa de este gran paso, por la calma y la paz que me transmitís cada día, en definitiva, por la suerte de tenerlos como padres y tenerlos tan cerca aun estando tan lejos.

Gracias a mis hermanos, mis cuñadas y mis sobrinos. No sabéis la suerte que tengo de tenerlos en mi vida, de ser la alegría en cada vuelta a casa, por el apoyo en cada momento y por transmitirme tanto en cada abrazo. A los más pequeños de la casa, gracias por darme tanto aun sin ustedes saberlo.

Hace once años comencé a estudiar la carrera que desde niña tenía claro que quería hacer. Cuando comencé, tenía muy claro a qué me quería dedicar, pero al final es como muchas otras cosas, a medida que vas conociendo y aprendiendo, el camino va cogiendo otro rumbo y gracias a esa nueva visión de mi futuro pude conocer a los que han sido los directores de esta tesis. En primer lugar, quiero agradecer al Dr. Vicente Á-G, no sé muy bien qué vio en mí, pero desde un primer momento ha sido una de las personas que ha luchado para que hoy esto sea posible. Gracias por darme la oportunidad, por confiar en mí, por formar parte de esta experiencia, por tus consejos profesionales, pero también personales, y por tu constancia. En segundo lugar, y no por ello menos importante, al Dr. F. Javier L-R. Muchas gracias por tus múltiples palabras de aliento, por todo lo que me has permitido aprender en este departamento, y me has ayudado a crecer, por abrirme al maravilloso mundo de la investigación. Gracias por compartir tus conocimientos, tu experiencia, tu sabiduría, por tu dedicación y tolerancia. Gracias por confiar en mi trabajo y en mi.

Todo este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda del Departamento de Fisiología del Ejercicio, gracias a cada uno de ustedes por haber aportado en mí su granito de arena, por darme la oportunidad de formarme como profesional y de

haberme hecho sentir parte de este gran grupo de investigación desde el primer día. Somos muchos, y a todos les daría las gracias por algo, pero en estas líneas quiero hacer una mención especial a mis compañeras del Laboratorio, aunque más que compañeras son mis amigas, mis confidentes, las que ya me conocen mejor que yo misma. Gracias Desirée y Ana, han sido tres años intensos, de mucho trabajo, de agobios, pero cada vez que miro atrás sólo soy capaz de recordar las anécdotas, las risas, la capacidad de ponernos en el lugar de la otra y darnos consejos. Gracias por el apoyo en estos meses, sin ustedes esto tampoco sería posible. Y también me gustaría agradecer a María, aunque ya no estás en el día a día con nosotras, para mí siempre seguirás siendo parte del laboratorio. Te convertiste en una parte importante en mi vida desde que nos conocimos, siempre estás y espero que siempre estés en mi camino, ayudándome, escuchándome, aconsejándome, siendo una amiga.

También me gustaría dar las gracias al Dr. Luque, que comenzó siendo mi tutor de TFM y actualmente se ha convertido en un gran compañero. Me abrió el camino en este departamento, y sin él los días no serían lo mismo, porque que seríamos sin sus chistes y sarcasmos...

Por último, aunque deberías de estar de los primeros, quiero agradecer a Juan Carlos, la persona que desde hace más de nueve años está a mi lado, llenando los días de luz y siendo mi místico preferido. Sinceramente, no hay palabras que te pueda escribir, la ayuda que me has brindado desde que nos conocemos es incalculable. No hubiera sido capaz de hoy poner un punto y final a este trabajo si tú no hubieras estado. Y te he dejado para el final porque quiero que sepas que este trabajo te lo dedico a ti. Han sido unos meses horribles, pero en cada uno de ellos tú has estado al pie del cañón, con una sonrisa, manteniéndote fuerte y dándome la oportunidad de encontrarme hoy en este momento. Gracias por ser mi apoyo incondicional, por estar siempre, por ser un equipo.

Gracias al resto de mi familia, amigos... gracias a los que ya no están, por acompañarme día a día en mi corazón.

"En la lucha entre el arroyo y la roca, siempre triunfa el arroyo, no porque sea muy fuerte, sino porque persevera".
H. Jackson Brown (1940).

ÍNDICE GENERAL

SIGLAS Y ABREVIATURAS	23
ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS	27
I - INTRODUCCIÓN	37
II - JUSTIFICACIÓN	101
III - OBJETIVOS	105
3.1 OBJETIVO PRINCIPAL	105
3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	105
IV - MATERIAL Y MÉTODO	109
4.1 DISEÑO DEL ESTUDIO	109
4.1.1 Población objeto de la investigación.....	110
4.1.1.1 Aleatorización	111
4.1.1.2 Cegamiento.....	111
4.1.1.3 Criterios de retirada y abandono	112
4.1.2 Producto administrado.....	114
4.1.2.1 Producto propuesto para investigar	114
4.1.2.2 Producto placebo	116
4.1.2.3 Cumplimiento de la ingesta del producto.....	117
4.2 VARIABLES	117
4.2.1 Características generales de los ciclistas	118
4.2.2 Variables de la contrarreloj con limitación temporal	119
4.2.2.1 Variables de rendimiento	119
4.2.2.2 Variables bioquímicas.....	121
4.2.3 Variables de la contrarreloj con limitación de distancia	122
4.2.3.1 Variables de rendimiento	122
4.2.3.2 Variables bioquímicas.....	126
4.2.4 Test de parestesia	127
4.2.5 Composición corporal	128
4.2.6 Control dietético	128
4.2.7 Plan de entrenamiento y cuantificación de carga de entrenamiento....	129
4.2.8 Control de la ingesta del producto	131
4.2.9 Seguridad	131
4.3 DESARROLLO DEL ESTUDIO	131

4.3.1 Reclutamiento	132
4.3.2 Fase experimental.....	133
4.4 ASPECTOS ÉTICOS	138
4.4.1 Hoja de información y consentimiento informado de los sujetos	139
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	140
4.5.1 Metodología estadística.....	140
4.5.2 Tamaño muestral.....	141
V - RESULTADOS	145
5.1 DIAGRAMA DE FLUJO	145
5.2 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DE LOS SUJETOS.....	147
5.3 CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN TEMPORAL	148
5.3.1 Variables de rendimiento	148
5.3.1.1 <i>Potencia media</i>	148
5.3.1.2 <i>Distancia recorrida</i>	150
5.3.1.3 <i>Trabajo total</i>	152
5.3.1.4 <i>AUC de trabajo</i>	154
5.3.1.5 <i>AUC de potencia</i>	156
5.3.1.6 <i>Cadencia</i>	158
5.3.1.7 <i>Fuerza de pedaleo</i>	160
5.3.1.8 <i>Percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)</i>	162
5.3.2 Respuestas bioquímicas.....	164
5.3.2.1 <i>Lactato</i>	164
5.3.2.2 <i>Valores de gases en sangre</i>	168
5.3.2.3 <i>Estado ácido – base</i>	179
5.3.2.4 <i>Variable de electrolitos</i>	185
5.4 CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN DE DISTANCIA	189
5.4.1 Variables de rendimiento	189
5.4.1.1 <i>Tiempo global</i>	189
5.4.1.2 <i>Tiempo por tramos</i>	191
5.4.1.3 <i>Potencia relativa</i>	196
5.4.1.4 <i>Potencia media global</i>	198
5.4.1.5 <i>Potencia por tramos</i>	200
5.4.1.6 <i>Frecuencia cardiaca media global</i>	205

5.4.1.7 Frecuencia cardiaca por tramos.....	207
5.4.1.8 Desnivel acumulado.....	212
5.4.1.9 Percepción subjetiva del esfuerzo (RPE).....	215
5.4.2 Variables bioquímicas.....	217
5.4.2.1 Lactacidemia.....	217
5.5 CARGA DE ENTRENAMIENTO.....	220
5.5.1 Duración de los entrenamientos.....	220
5.5.2 Distancia de los entrenamientos.....	222
5.5.3 Trabajo total ejercido por los ciclistas.....	224
5.5.4 Potencia media.....	225
5.5.5 Potencia normalizada.....	227
5.5.6 Intensidad relativa.....	228
5.5.7 BikeScore.....	230
5.5.8 Datos generales teniendo en cuenta los días de entrenamiento.....	231
5.6 TEST DE PARESTESIA.....	233
5.7 COMPOSICIÓN CORPORAL.....	233
5.7.1 Peso corporal.....	233
5.7.2 Masa grasa en porcentaje.....	235
5.7.3 Masa grasa.....	237
5.7.4 Masa magra.....	238
5.7.5 Masa muscular.....	240
5.7 CONTROL DE LA INGESTA DEL PRODUCTO.....	242
5.8 SEGURIDAD.....	242
VI - DISCUSIÓN.....	245
6.1 PRUEBA CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN TEMPORAL.....	252
6.1.1 Variables de rendimiento.....	252
6.1.2 Variables bioquímicas.....	256
6.1.3 Importancia de la candencia de pedaleo.....	262
6.2 PRUEBA CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN DE DISTANCIA.....	264
6.3 DISCUSIÓN GENERAL.....	266
VII - CONCLUSIONES.....	273
VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	277
IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	283
X – ANEXOS.....	317

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACSM	American College of Sports Medicine (Colegio Americano de Medicina del Deporte)
ADP	Adenosín difosfato
ATP	Adenosín trifosfato
AUC	Área bajo la curva
BA	Grupo β -alanina
BK	Bike Score
BS	Grupo Bicarbonato sódico
Ca²⁺	Calcio
Cl⁻	Cloro
CP	Potencia crítica
CRD	Cuaderno de recogida de datos
EBA	Equilibrio ácido-base
EMG	Electromiografía
E + BA	Entrenados y consumo de β -alanina
E + PL	Entrenados y consumo de placebo
EVA	Escala visual analógica
FC	Frecuencia cardiaca
FC_{máx}	Frecuencia cardiaca máxima
FTP	Functional Threshold Power (Umbral de potencia funcional)
g	Gramos
H⁺	Hidrogeniones
h	Horas

H₂O	Agua
HC	Hidratos de carbono
HCO₃⁻	Bicarbonato
HIIT	Entrenamiento en intervalos de alta intensidad
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
ISSN	International Society of Sports Nutrition (Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva)
K⁺	Potasio
K38	Residuo 38 de lisina
kg	Kilogramos
km	Kilómetros
lat/min	Latidos por minuto
m	Metros
MANOVA	Análisis de varianza de un factor
mg	Miligramos
min	minutos
MLSS	Maximal Lactate Steady State (Máximo estado estable de lactato)
mmHg	Milímetros de mercurio
MrgprD	Gen Mas
Na⁺	Sodio
NaHCO₃	Bicarbonato de sodio
NE + BA	No entrenados y consumo de β-alanina
NE + PL	No entrenados y consumo de placebo
NIH	National Institutes of Health (Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos)

OBLA	Onset of Blood Lactate Accumulation(Acumulación de lactato en sangre)
OMS	Organización mundial de la salud
Pi	Fosfato inorgánico
PL	Grupo Placebo
RER	Cociente respiratorio
RFEC	Real Federación Española de Ciclismo
ROS	Radicales libres
RPE	Percepción subjetiva del esfuerzo
rpm	Revoluciones por minuto
RR	Liberación rápida
SR	Liberación sostenida
TRIMP	Training Impulse (Impulso de entrenamiento)
TT	Time Trial (Contrarreloj)
TSS	Training Stress Score (Puntuación de estrés)
UA	Unidades arbitrarias
UCI	Unión Ciclista Internacional
UE	Unión Europea
VAM	Velocidad aeróbica máxima
VE	Ventilación pulmonar durante el ejercicio
VE/VCO₂	Equivalente ventilatorio de dióxido de carbono
VE/VO₂	Equivalente ventilatorio de oxígeno
VFC	Variabilidad de la FC
VO₂	Consumo de oxígeno
VO₂máx	Consumo máximo de oxígeno
VT1	Umbral ventilatorio 1

26

VT2	Umbral ventilatorio 2
W	Vatios
W/kg	Unidad de la potencia relativa
WADA	World Anti – Doping Agency (Agencia Mundial Antidopaje)
WVT2	Potencia en el umbral ventilatorio 2
1RM	Una repetición máxima
μL	Microlito

ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Síntesis de carnosina con β -alanina y L-histidina.....	57
Figura 2. Captación de β -alanina a las fibras musculares	60
Figura 3. Concentraciones de carnosina intramuscular	68
Figura 4. Teoría del filamento deslizante	77
Figura 5. Hipótesis sobre el mecanismo ergogénico de la carnosina	81
Figura 6. Representación gráfica del diseño del estudio.....	109
Figura 7. Bote de producto con codificación de producto y de sujeto	112
Figura 8. Producto en investigación.....	114
Figura 9. Medidor de producto y muestra de una ingesta de producto	115
Figura 10. Cegamiento de la pantalla de control del cicloergómetro	120
Figura 11. Escala de esfuerzo percibida (RPE).....	121
Figura 12. Desarrollo del estudio de la contrarreloj con limitación temporal.....	122
Figura 13. Desarrollo del estudio de la contrarreloj con limitación de distancia. 127	
Figura 14. Desarrollo del estudio teniendo en cuenta las dos contrarrelojes.	137
Figura 15. Diagrama de flujo.....	146
Figura 16. Potencia media en la contrarreloj con limitación temporal.....	150
Figura 17. Distancia recorrida en la contrarreloj con limitación temporal.	152
Figura 18. Trabajo total en la contrarreloj con limitación temporal.....	154
Figura 19. AUC de trabajo en la contrarreloj con limitación temporal.	156
Figura 20. AUC de potencia en la contrarreloj con limitación temporal.....	158
Figura 21. Cadencia en la contrarreloj con limitación temporal.....	160
Figura 22. Fuerza de pedaleo en la contrarreloj con limitación temporal.....	161
Figura 23. RPE en la contrarreloj con limitación temporal	164
Figura 24. Lactato en sangre en la contrarreloj con limitación temporal.	168
Figura 25. pH en la contrarreloj con limitación temporal.	171
Figura 26. pCO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal	174
Figura 27. pO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal	178
Figura 28. EBA en la contrarreloj con limitación temporal.	182

Figura 29. HCO ₃ ⁻ en la contrarreloj con limitación temporal.....	185
Figura 30. Anión Gap en la contrarreloj con limitación temporal.....	189
Figura 31. Tiempo en la contrarreloj con limitación de distancia	191
Figura 32. Tiempo acumulado en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de β-alanina.....	192
Figura 33. Tiempo acumulado en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de placebo.....	192
Figura 34. Incremento del tiempo en cada uno de los tramos.....	196
Figura 35. Potencia relativa en la contrarreloj con limitación de distancia.....	198
Figura 36. Potencia media en la contrarreloj con limitación de distancia.....	200
Figura 37. Potencia media de cada tramo en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de β-alanina.	201
Figura 38. Potencia media de cada tramo en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de placebo.	202
Figura 39. Incremento de la potencia media en cada uno de los tramos.	205
Figura 40. Frecuencia cardiaca en la contrarreloj con limitación de distancia.	207
Figura 41. Frecuencia cardiaca de cada tramo en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de β-alanina.	208
Figura 42. Frecuencia cardiaca de cada tramo en la contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de placebo	209
Figura 43. Incremento de la potencia media en cada uno de los tramos	212
Figura 44. Desnivel en la contrarreloj con limitación de distancia	213
Figura 45. RPE en la contrarreloj con limitación de distancia	217
Figura 46. Lactato en sangre en la contrarreloj con limitación de distancia.	220
Figura 47. Duración de cada uno de los entrenamientos.	222
Figura 48. Distancia recorrida de cada uno de los entrenamientos.	223
Figura 49. Trabajo total de cada uno de los entrenamientos	225
Figura 50. Potencia media de cada uno de los entrenamientos.....	226
Figura 51. Potencia normalizada de cada uno de los entrenamientos	228
Figura 52. Intensidad relativa de cada uno de los entrenamientos.	229
Figura 53. BikeScore de cada uno de los entrenamientos	231
Figura 54. Peso corporal.....	235
Figura 55. Porcentaje de masa grasa.....	236
Figura 56. Masa grasa.....	238

	29
Figura 57. Masa magra	240
Figura 58. Masa muscular	241

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características de las diferentes etapas	38
Tabla 2. Niveles de entrenamiento de la potencia	47
Tabla 3. Carga de trabajo e intensidad de las carreras de una Gran Vuelta.....	50
Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.	92
Tabla 5. Cantidad de macronutrientes del producto placebo	116
Tabla 6. Cronograma del desarrollo del estudio.....	137
Tabla 7. Condición física de los ciclistas que participaron en el estudio.....	147
Tabla 8. Potencia media en la contrarreloj con limitación temporal.	149
Tabla 9. Distancia recorrida en la contrarreloj con limitación temporal.....	151
Tabla 10. Trabajo total en la contrarreloj con limitación temporal	153
Tabla 11. AUC de trabajo en la contrarreloj con limitación temporal.....	155
Tabla 12. AUC de potencia en la contrarreloj con limitación temporal	157
Tabla 13. Cadencia en la contrarreloj con limitación temporal	159
Tabla 14. Fuerza de pedaleo en la contrarreloj con limitación temporal.....	160
Tabla 15. RPE en la contrarreloj con limitación temporal	163
Tabla 16. Lactato en sangre en la contrarreloj con limitación temporal.	165
Tabla 17. Incremento de lactato en la contrarreloj con limitación temporal	166
Tabla 18. pH en la contrarreloj con limitación temporal.....	169
Tabla 19. Incremento de pH en la contrarreloj con limitación temporal	170
Tabla 20. pCO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal	173
Tabla 21. Incremento de pCO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal	173
Tabla 22. pO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal.....	176
Tabla 23. Incremento de pO ₂ en la contrarreloj con limitación temporal	177
Tabla 24. EBA en la contrarreloj con limitación temporal	180
Tabla 25. Incremento de EBA en la contrarreloj con limitación temporal.....	181
Tabla 26. HCO ₃ ⁻ en la contrarreloj con limitación temporal	183
Tabla 27. Incremento de HCO ₃ ⁻ en la contrarreloj con limitación temporal.....	184
Tabla 28. Anión Gap en la contrarreloj con limitación temporal.....	187
Tabla 29. Incremento de anión Gap en la contrarreloj con limitación temporal.	187
Tabla 30. Tiempo global en la contrarreloj con limitación de distancia.....	190
Tabla 31. Tiempo en el que recorren cada tramo en la contrarreloj con limitación de distancia.	193

Tabla 32. Potencia relativa en la contrarreloj con limitación de distancia.....	197
Tabla 33. Potencia media en la contrarreloj con limitación de distancia.	199
Tabla 34. Potencia media de cada uno de los tramos en la contrarreloj con limitación de distancia.....	202
Tabla 35. Frecuencia cardiaca en la contrarreloj con limitación de distancia.	206
Tabla 36. Frecuencia cardiaca media de cada uno de los tramos en la contrarreloj con limitación de distancia	209
Tabla 37. Desnivel acumulado en la contrarreloj con limitación de distancia.....	213
Tabla 38. RPE en la contrarreloj con limitación de distancia.....	216
Tabla 39. Lactato en sangre en la contrarreloj con limitación de distancia	218
Tabla 40. Duración de cada uno de los entrenamientos.....	221
Tabla 41. Distancia de cada uno de los entrenamientos.....	222
Tabla 42. Trabajo total de cada uno de los entrenamientos.....	224
Tabla 43. Potencia media de cada uno de los entrenamientos.....	225
Tabla 44. Potencia normalizada de cada uno de los entrenamientos.....	227
Tabla 45. Intensidad relativa de cada uno de los entrenamientos.....	228
Tabla 46. Bikescore de cada uno de los entrenamientos.	230
Tabla 47. Carga media diaria de todos los entrenamientos.....	232
Tabla 48. Peso corporal	234
Tabla 49. Porcentaje de masa grasa.....	235
Tabla 50. Masa grasa.	237
Tabla 51. Masa magra	239
Tabla 52. Masa muscular.	240

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Hoja de aleatorización.	317
ANEXO 2: Características del producto en investigación: BETAFOR3MAX®....	319
ANEXO 3: Análisis del producto como sustancia dopante.	320
ANEXO 4: Características del producto placebo. Sémola de trigo	325
ANEXO 5: Control de la entrega, recogida y peso del producto	329
ANEXO 6: Test de parestesia	331
ANEXO 7: Recomendaciones nutricionales	335
ANEXO 8: Cronograma del orden de las pruebas de los sujetos en las visitas ...	339
ANEXO 9: Hoja registro de datos de la prueba en condiciones de laboratorio...	341
ANEXO 10: Hoja de registro de datos de la prueba del Coll de Rates.....	343
ANEXO 11: Informe de comité de ética favorable	345
ANEXO 12: Hoja de información para el sujeto	347
ANEXO 13: Consentimiento informado para el sujeto.....	349
ANEXO 14: Informe individualizado de los resultados.....	351

I - INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

1.1 CICLISMO DE CARRETERA

El ciclismo de carretera o en ruta es la modalidad con mayor popularidad y que cuenta con un mayor número de seguidores, siendo el 10º deporte de España con mayor número de licencias [1]. El máximo organismo regulador de esta disciplina es la Unión Ciclista Internacional (UCI) pero como en todos los deportes, son las federaciones nacionales las que se encargan de controlar, organizar y regular las competiciones en cada uno de los países, como por ejemplo la Real Federación Española de Ciclismo (RFEC) en España. El ciclismo de carretera se encuentra actualmente en pleno auge, ofreciendo un amplio número de competiciones desde categorías juveniles y júnior hasta las competiciones profesionales de élite.

1.1.1 Organización de la temporada en ciclismo

La temporada de los ciclistas profesionales abarca desde finales de invierno hasta finales de verano y principios de otoño, incluyendo un total de 100 días de competición. Un ciclista profesional masculino puede llegar a recorrer cada año entre 25.000 y 35.000 kilómetros (km), entre entrenamientos y competiciones [2,3]. Las competiciones incluyen: a) carreras de un solo día, conocidas como clásicas (~250 km). Estas pruebas son muy exigentes y se concentran entre los meses de marzo y abril [4]; b) carreras intermedias, que duran alrededor de una semana (4 a 5 etapas diarias consecutivas de 150 a 200 km y una contrarreloj individual); y c) carrera por etapas, estas son las más conocidas, donde la competición tiene una duración aproximada de tres semanas. Este tipo de competiciones consta de 21 etapas aproximadamente, donde cada una de ellas tiene una duración de entre 4 o 5 horas (h) (~ 200 km por etapa), con la particularidad de que solo hay de 1 a 2 días de descanso [5]. Son de las competiciones más duras, pero también las más populares y se les conoce como las Grandes Vueltas, como pueden ser el Giro de Italia, Tour de Francia y Vuelta a España. Se disputan entre los meses de mayo y

septiembre. La diferencia entre cada una de ellas viene dada por las características de cada una de las etapas, donde la dificultad e intensidad la marcan principalmente la duración y el desnivel [6]. La mayoría de los ciclistas profesionales de carretera participan en al menos una de las Grandes Vueltas [7] (Tabla 1).

Tabla 1. Principales características de las etapas llanas, etapas de montaña y contrarreloj. Tabla adaptada de Lucía y col. [5]

	Etapas llanas	Etapas de montaña	Contrarreloj
Distancia (km)	~ 200	~ 200	40-60 plano general
Tiempo ejercicio (h)	4-5	5-6	~ 1
Intensidad media	Baja – moderada	Moderada – alta (alta durante los ascensos)	Alta
Metabolismo predominante	Aeróbico (grasa)	Aeróbico (grasa e HC) y aeróbico/anaeróbico (HC) durante los ascensos	Aeróbico (HC) y anaeróbico
Velocidad media (km/h)	~ 45	~ 20 durante ascensos	~ 50 (especialistas TT)
Cadencia (rpm)	~ 90	~ 70	~ 90
Posición del ciclista	Sentado	Sentado y de pie	Aerodinámico
Requisitos principales	Técnicos	Fisiológico	Fisiológico y aerodinámico
Potencia estimada	< 250W	6 o más W/kg durante ascensos	350W (400W en especialistas TT)

HC= Hidratos de Carbono; TT= contrarreloj; rpm= revoluciones por minuto; W/kg= vatios / kilogramos; ; W= vatios

El ciclismo profesional de carretera es un deporte complejo, considerado uno de los deportes más exigentes y extremos a nivel de resistencia [5,8], no solo por las variables que no se pueden controlar (condiciones meteorológicas, tácticas de otros equipos, principalmente) y que pueden afectar al rendimiento de los ciclistas, sino porque las variantes que ofrece este deporte exige que el deportista se esfuerce al máximo en cada prueba. Las etapas que se suelen combinar, y en la que los ciclistas deben de entrenar, son los recorridos planos y largos,

contrarrelojes individuales y etapas de montaña [6,9]. En cada equipo existen ciclistas especialistas en cada una de estas etapas, pero el objetivo de cada ciclista es finalizar cada carrera en el menor tiempo posible. De entre todos los tipos de carrera, las contrarrelojes son las etapas más importantes para la clasificación general y su intensidad no solo está relacionada con la dificultad del ascenso sino que con la posición de este tipo de etapas dentro de la propia competición [9].

En las etapas llanas los ciclistas tienen un bajo requerimiento energético, lo que hace que la intensidad total sea baja – moderada. La razón de que esto sea así, es debido a que estas etapas no superan los 2200 metros (m) de desnivel [9] y a pesar de que son etapas largas, los ciclistas se mantienen en pelotón, lo que hace que se reduzca considerablemente la resistencia aerodinámica [10]. En este tipo de etapas, el 70% del tiempo total se encuentran pedaleando a una intensidad inferior al 70% del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) [8].

En las etapas de montaña, que pueden ser de media o de alta montaña, se incluyen entre 3 y 5 puertos, donde la pendiente media se encuentra entre el 5 y el 10%. El principal problema de dichas etapas es que los ciclistas deben de superar la fuerza gravitacional [11], por lo que se debe de tener en cuenta la masa corporal [12]. El ascenso a estos puertos de montaña requiere ir a velocidades bajas e intensidades elevadas, las cuales se encuentran cerca del umbral anaeróbico o al 90% del $VO_{2máx}$ [8,13]. En estas etapas el desnivel es de ~2500 m si son etapas de media montaña, donde hay subidas de 13 a 35 km y de más de 3000 m de desnivel cuando son etapas de alta montaña. Este último tipo de etapas debe tener más de 35 km de subida, y la mayoría de ellas deben de tener una escalada final de aproximadamente 10 km [5,9].

Cuando se habla de las etapas de contrarreloj se deben diferenciar dos tipos, las cortas que tienen una distancia entre 5 y 10 km y las largas que van desde 40 a 60 km. A diferencia de las etapas llanas, en las contrarrelojes los ciclistas no pedalean en pelotón, por lo que se enfrentan a la resistencia aerodinámica en todo el recorrido, siendo los factores aerodinámicos un determinante importante en este tipo de etapas (tipo de bicicleta, postura del ciclista, etc.) [5]. En estas etapas los ciclistas deben de rendir al máximo, ya que tienen de ser capaces de mantener velocidades muy elevadas (velocidad media de ~50 km/h) con un trabajo constante de intensidad elevada durante más de la mitad de toda la prueba, como mínimo (en el umbral anaeróbico o al 90% del $VO_{2máx}$) [8,13]. Por lo que a pesar de

tener una duración y distancia menor con respecto a los otros tipos de recorridos, son de las etapas más exigentes al requerir una intensidad mayor por parte del ciclista [5,6].

En las etapas de contrarreloj los ciclistas deben de ser capaces de pedalear a marchas y ritmos muy altos durante periodos largos de tiempo. Además, las potencias medias alcanzadas en estas etapas se encuentran entorno a ~350 vatios (W), aunque en los ciclistas especialistas en estas pruebas pueden superar los ~400 W de potencia media [14,15]. Se compite individualmente, por lo que los ciclistas intentan que el tiempo en el que recorren la distancia establecida sea el menor posible. Es por esta razón por lo que estas pruebas pueden llegar a ser las más importantes o las jueces en una vuelta por etapas, determinando la clasificación general de la carrera [14].

1.2 RESPUESTAS Y ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS EN EL CICLISMO

Los ciclistas profesionales de carretera tienen unas características fisiológicas notables en comparación con ciclistas amateurs de élite, lo que permite demostrar que su rendimiento sea mayor [16]. El ciclismo de carretera profesional es un deporte con altas demandas aeróbicas, sin embargo, las etapas de montaña, los intervalos de sprint que deben de realizar, así como las pruebas de contrarreloj, hacen que los ciclistas tengan que rendir por encima de su nivel físico, requiriendo el uso del sistema glucolítico anaeróbico. A pesar de que existen ciclistas especialistas en cada uno de los diferentes tipos de etapas, todos deben de realizar cada una de ellas, por lo que todos deben de ser capaces en mayor o menor medida de rendir en situaciones aeróbicas y anaeróbicas en un largo periodo de tiempo [7]. Los ciclistas muestran cuatro características principales a nivel fisiológico que se deben de tener en cuenta: a) tienen un patrón respiratorio característico [16]; b) son capaces de mantener su rendimiento a altas cargas de trabajo y durante periodos largos de tiempo (mínimo una hora) [13]; c) son capaces de que su rendimiento dependa del metabolismo de las grasas, aun cuando trabajan a potencias elevadas (determinada por el lactato en sangre y el intercambio gaseoso) [17]; y d) muestran adaptaciones neuromusculares que se pueden observar mediante electromiografía de superficie [17].

1.2.1 Demandas fisiológicas en ciclismo

El ciclismo se caracteriza por ser un deporte complejo, donde existen muchas variables que pueden afectar al rendimiento. Los ciclistas de ruta profesionales masculinos se caracterizan por tener capacidades aeróbicas muy elevadas, tanto a intensidades de ejercicio máximas como submáximas. En las carreras más importantes y características de este deporte, donde suman un total de 3 semanas de competición, como puede ser el Tour de Francia, lo que determinará el éxito del ciclista será su capacidad para rendir en las dos pruebas más exigentes de la misma: las etapas de montaña, con una pendiente media del 7% y las contrarrelojes [7]. Aunque la mayoría de los ciclistas muestran destrezas para cada una de las pruebas, suelen tener mayor afinidad o preferencia por una de ellas.

Los ciclistas profesionales de ruta se caracterizan por presentar una composición corporal atlética, capacidades aeróbicas máximas y umbrales de lactato elevados [5,6], conocido también como máximo estado estable de lactato (MLSS). El MLSS hace referencia a la intensidad más elevada en la que el sistema buffer de bicarbonato tampona y controla la acidosis producida por el metabolismo glucolítico y sistema de fosfágenos de alta energía, evitando con ello una acumulación de la acidosis. Es decir, la intensidad correspondiente en la que las concentraciones de lactato permanecen estables durante cargas intensas prolongadas en el tiempo, localizado en la mayoría de los ciclistas entre el 70-75% del $VO_{2máx}$ [18]. La combinación de este umbral de lactato y la capacidad aeróbica de los ciclistas, permite que se tengan grandes capacidades anaeróbicas con el fin de poder mantener grandes cantidades de hidrogeniones (H^+) antes del agotamiento [6].

Las tres fuerzas que influyen en este deporte y que el ciclista debe superar para poder avanzar son: la resistencia al rozamiento, aerodinámica y gravitacional [11,12]. Teniendo en cuenta lo comentado, se puede determinar que los mejores escaladores suelen ser ciclistas pequeños, ya que cuando realizan las subidas a los puertos, la velocidad es baja. Además de la resistencia aerodinámica, el ciclista debe vencer principalmente la fuerza gravitacional [19]. Sin embargo, en las carreras de contrarreloj la resistencia aerodinámica es la que más importancia tiene debido a que los ciclistas salen a rodar de uno en uno, por lo que su

constitución corporal suele ser más grande. Normalmente suelen alcanzar velocidades medias altas (~50 km/h), y esto es debido, entre otras cosas, a que consiguen mantener la aerodinámica en la bicicleta.

El ciclismo de ruta es un deporte que se realiza en diversos tipos de terrenos y situaciones, por lo que la cantidad de trabajo que debe realizar el deportista va a estar condicionada por las variables antropométricas [12,19,20]. Las variables más importantes son la masa corporal que determinará la resistencia dependiente de la gravedad (aspecto importante en las situaciones de escalada) y el área frontal, debido a su influencia en la resistencia aerodinámica (afectando por tanto al rendimiento en las pruebas de contrarreloj) [19,20]. Por lo que el rendimiento del ciclista está condicionado por sus características morfológicas. El primer estudio que evalúa las características fisiológicas y de rendimiento de los ciclistas de ruta profesional de élite es el llevado a cabo por Padilla y col [15] en el que se determinó que los contrarrelojistas tenían mayor masa corporal comparado con los escaladores (~71 kilogramos (kg) frente a ~62 kg) y esto les hacía tener una mayor ventaja a nivel de rendimiento absoluto (VO_{2max} y potencia máxima), por lo que se debería de tener en cuenta los resultados en relación a las variables antropométricas para evaluar realmente la capacidad del ciclista en las diferentes especialidades [7,15,21]. Al observar las intensidades medias se puede determinar que ambos tipos de ciclistas consiguen medias por encima de su segundo umbral ventilatorio (~90% del VO_{2max}) [13], comportándose de la misma manera durante toda la competición. Sin embargo, estos estudios no pudieron determinar si existen otros factores (cardiorrespiratorios, metabólicos, neuromusculares, etc.), que puedan explicar las habilidades para unas pruebas u otras [13,15].

Lucía y col [7] llevaron a cabo un estudio, un año después del anterior, donde trataron de identificar los factores fisiológicos que podrían diferenciar a los ciclistas de escalada y a los que conseguían un mayor rendimiento en las pruebas de contrarreloj. En dicho estudio se añadieron indicadores fisiológicos como intercambio de gases, pH sanguíneo y electromiografía (EMG) [15]. Los resultados encontrados determinaron que los escaladores presentaban un mayor $VO_{2máx}$ (ml/kg/min), una mayor concentración de lactato en sangre capilar, un mayor reclutamiento de unidades motoras a intensidad submáximas (~80% del VO_{2max}) y una mayor capacidad de amortiguación. Por el contrario, los contrarrelojistas tendían a generar mayor rendimiento para un determinado % de

VO_{2max} (sobre todo en el umbral ventilatorio 2 – VT2). Además, presentaron un patrón de pedaleo más eficiente, requiriendo un menor reclutamiento de fibras musculares para poder obtener valores similares o superiores de potencia. Por lo que a diferencia de lo concluido por Padilla y col [15] donde las diferencias antropométricas pueden influenciar el rendimiento de los ciclistas, Lucía y col [7] determinan que cuando los ciclistas profesionales alcanzan un alto nivel aeróbico, lo que diferencia a los dos grandes tipos de ciclistas es que el rendimiento de los escaladores está condicionado por factores fisiológicos (capacidad anaeróbica, capacidad de amortiguación, reclutamiento de unidades motoras, etc.) y el rendimiento de los contrarrelojistas depende en gran medida de factores técnicos (biomecánica y aerodinámica).

Mujika y col [21] encontraron resultados similares a los planteados anteriormente, pero determinan que al ser las características antropométricas variables importantes en el rendimiento de los ciclistas, las mediciones llevadas a cabo en el laboratorio deben ser corroboradas en el campo de competición, para así poder obtener los valores más reales de la resistencia de los ciclistas.

1.2.2 Carga de entrenamiento

El aumento de la profesionalización de los deportes ha ido asociada a un aumento de la carga de entrenamiento, tanto a nivel de intensidad como de volumen de ejercicio. En las declaraciones del consenso del Comité Olímpico Internacional, la gestión de la carga es crucial para los atletas [22,23]. En las concentraciones de entrenamiento intensivo, las cargas de entrenamiento aumentan en un período de tiempo muy corto, por lo que da lugar a un riesgo de sobrecarga [24]. Sin embargo, se sabe poco sobre la tolerancia de los atletas a tales concentraciones. Por lo tanto, existe una gran necesidad de monitorear y controlar la carga de entrenamiento externa, por un lado, pero por otro lado, y aún más importante, investigar los diferentes cambios a nivel fisiológico, bioquímico, de rendimiento y psicológico que provoca dicha carga a nivel interno [25].

La carga de entrenamiento externa, definida como el trabajo realizado por un atleta, puede determinarse simplemente midiendo la velocidad, la distancia, la diferencia de altitud y la producción de potencia [26,27]. Sin embargo, una misma carga de entrenamiento externa no provoca la misma carga interna en todos los

atletas, pudiendo encontrar diferencias entre ellos ante un mismo estímulo. Las medidas más fáciles incluyen la frecuencia cardiaca (FC) media, la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) [28], el impulso de entrenamiento (TRIMP) [29], las mediciones del rendimiento, los cuestionarios psicológicos [30], la evaluación del equilibrio del sistema nervioso autónomo (FC y variabilidad de la FC (VFC)) [24,31,32] y el sueño [27].

Mujika y col [21] son de los primeros en relacionar los resultados en los test realizados en laboratorio con la monitorización de la FC durante los entrenamientos y competiciones, con el fin de determinar la intensidad y la carga del ejercicio. Además, Sanders y col [33] sugirió que las relaciones entre los indicadores perceptivos y fisiológicos de intensidad (RPE: FC) y carga (RPE de la sesión: TRIMP) pueden proporcionar información adicional para monitorear el estado de fatiga de los atletas.

Existen diferencias entre las pruebas en condiciones de laboratorio y al aire libre, así como entre el terreno llano y en las subidas de montaña [34–36]. Al principio la monitorización de la intensidad se basaba en la FC, la potencia y la concentración de lactato en sangre [5,14,37]. Padilla y col, en una serie de estudios [9,14,37], evaluaron la intensidad y la carga del ejercicio durante las competiciones de ciclismo describiendo el tiempo de permanencia en las diferentes zonas de FC y la carga de ejercicio utilizando los TRIMP. Sin embargo, actualmente se desestima la FC como determinante de la intensidad y carga de trabajo ya que está influida por la deriva cardiovascular, el agotamiento del glucógeno y los factores ambientales, llegando a subestimar la intensidad de los ciclistas [9,38]. En esta misma línea, la potencia también podría estar influenciada en una contrarreloj cuesta arriba por varias limitaciones, como la resistencia aerodinámica, la resistencia al rozamiento, la masa de los ciclistas, la pendiente de la colina la relación de transmisión o la distancia total [39,40].

Estos parámetros se encuentran bien estudiados tanto en test de laboratorio como sobre el terreno, en condiciones reales. Sin embargo, las respuestas cardiovasculares y respiratorias no se han evaluado en condiciones de ciclismo al aire libre. El consumo de oxígeno (VO_2) se ha medido en pruebas de campo utilizando un sistema portátil, [34–36] aunque las distancias investigadas son más cortas que en las competiciones tradicionales de ciclismo en carretera [41].

Peinado y col [42] describieron el perfil fisiológico de una contrarreloj en un puerto de montaña de primera categoría, muy utilizado en las competiciones de ciclismo. En este estudio determinaron que los ciclistas realizaban la prueba con un VO_2 y una FC de aproximadamente el 90% del máximo alcanzado en una prueba incremental y la potencia se encontró en torno al 70% del valor máximo. Fue el primer estudio llevado a cabo en condiciones reales donde se evaluaron los parámetros cardiorrespiratorios y de rendimiento, corroborando lo que otros estudios habían informado en relación a la contrarreloj cuesta arriba, considerándolas las etapas de mayor intensidad en las competiciones [21,38].

Actualmente, el uso de la potencia para determinar la intensidad del entrenamiento se ha convertido en una de las formas más fiables de medición, ya que ésta se adapta a las exigencias del ejercicio en cada uno de los periodos, pero la adaptación de la FC es mucho más tardía [43] y se encuentra condicionada por otro tipo de factores ya comentados.

Los estudios que evaluaron la intensidad de las Grandes Vueltas, así como las características de las cargas del ejercicio, demostraron las extremas exigencias fisiológicas de este tipo de carrera [9,14,37,44]. Los avances tecnológicos han permitido conocer los datos fisiológicos (FC) y de trabajo (potencia) durante las competiciones, así como para poder controlar los entrenamientos de los ciclistas de élite. Estos dispositivos son los medidores de potencia móviles [6], considerados actualmente como la herramienta de mayor peso, no solo para los entrenadores sino que también a nivel científico [45,46]. Dada su gran importancia, existen diversos estudios que determinan las demandas de potencia en las diferentes etapas de una Gran Vuelta, etapas llanas, media y alta montaña [9,14,15,37,43,47-49]. A pesar de que anteriormente la cuantificación de la carga de las competiciones se basaban en la frecuencia cardiaca (TRIMP), también se detalla una descripción de las medidas de carga interna (Training Stress Score – TSS) proporcionando una información adicional [6].

En el estudio llevado a cabo por Sanders y col [6] muestran diferencias sustanciales en la intensidad y demandas de carga, así como en el perfil de potencia para cada una de las diferentes etapas dentro de una Gran Vuelta. En línea con lo citado anteriormente, las contrarrelojes son las etapas más intensas en comparación con las etapas de salida masiva [9,14,37], que son neutralizadas durante los primeros 10-15 km. Durante estas etapas, la mayor parte del tiempo

los ciclistas permanecieron en la zona más intensa tanto a nivel de FC (97% de la FC máxima (FC_{máx}) en comparación con otras etapas donde registran una media del 67-76%) como de potencia [50] (Tabla 2). Sin embargo, las pruebas llevadas a cabo en estos estudios fueron más cortas que en estudios anteriores, lo que puede haber influenciado los resultados obtenidos en cuanto a intensidad. En relación a las otras etapas, la mayor intensidad se encontró para las etapas de montaña, seguido de las de media montaña y por último, las menos intensas y con una carga total de trabajo más baja para las etapas llanas, datos observados anteriormente en otros estudios como el de Padilla y col [37]. La potencia relativa media de salida (3,50 W/kg etapa de montaña, 2,99 W/kg etapa media montaña, 2,68 W/kg etapa llana) así como la potencia media relativa ($3,3 \pm 0,2$ W/kg etapa de montaña, $3,3 \pm 0,3$ W/kg etapa media montaña, $3,1 \pm 0,3$ W/kg etapa llana) fue mayor en las etapas de montaña, siendo la más baja en las etapas llanas. Sin embargo, debido al desnivel total entre cada una de las etapas no se podría comparar dichos resultados, confirmando lo que reflejan estudios anteriores, donde se determina que el desnivel total de la etapa es un factor importante en la carga del ejercicio del ciclista [51]. En este estudio se recoge las exigencias de cada una de las etapas, a pesar de que la contrarreloj es un tipo de etapa de elevada intensidad relativa en comparación las de alta montaña, son estas últimas las más exigentes tanto en intensidad como en carga global de trabajo, seguidas por las de media montaña y llanas. En relación a la media de la potencia máxima se observan valores mayores en las etapas llanas y de media montaña (5 – 30 segundos y 30 segundos – 2 minutos (min) respectivamente), mientras que las etapas de montaña y de contrarreloj caracterizan por una mayor duración (>10 min), coincidiendo con lo recogido en estudios anteriores [52]. Los contrarrelojistas, al realizar las pruebas en terrenos llanos (la mayoría de ellas), son capaces de alcanzar velocidades más elevadas, que unido a una mayor fuerza y composición corporal permite que haya un aumento de la inercia y por tanto una mayor capacidad de general potencia. Al tener en cuenta a los escaladores, su composición corporal es menor, lo que permite que a la hora de enfrentarse a la fuerza gravitacional sea mucho más ligero y requiera de menos esfuerzo para poder generar mayor potencia relativa.

Con relación a la carga interna, existen muchas formas de medirla, teniendo en cuenta lo comentado anteriormente se detallan a continuación algunas de ellas.

Percepción subjetiva del esfuerzo – RPE

La percepción subjetiva del esfuerzo se evalúa mediante escalas numéricas graduadas donde el sujeto determina la intensidad que le ha supuesto el ejercicio realizado y el nivel de fatiga. La escala más utilizada es la escala modificada de Borg [53]. Ekkekakis [54] determina que la carga de entrenamiento se obtiene a través de la multiplicación de un valor de esta escala por el tiempo de la sesión de entrenamiento o de competición.

Tabla 2. Niveles de entrenamiento de la potencia, partiendo del umbral de potencia funcional (FTP) de 290W. Tabla adaptada de Allen y Coggan [50]

Nivel	Descripción	% de FTP	Potencia	RPE	Duración de carrera continua	Duración esfuerzo intervalo
1	Recuperación activa	<55	1-160	<2	30-90 min	N/A
2	Resistencia	56-75	161-218	2-3	60-300 min	N/A
3	Ritmo	76-90	219-261	3-4	60-180 min	N/A
4	Umbral de lactato	91-105	262-305	4-5	N/A	8-30 min
5	VO _{2max}	106-120	306-348	6-7	N/A	3-8 min
6	Capacidad anaeróbica	121-150	349-435	<7	N/A	30s – 3 min
7	Potencia neuromuscular	N/A	N/A	Máxima	N/A	<30s

La potencia al umbral de lactato es el determinante fisiológico más importante del rendimiento en el ciclismo de resistencia, ya que tiene en cuenta el VO_{2max}, el % de VO_{2máx} que se puede mantener durante un tiempo determinado y la eficacia de pedaleo. Esto puede ser provocado porque el VO₂ tiende a aumentar lentamente durante cualquier prueba de ejercicio de tasa de trabajo constante que involucre acidosis láctica sostenida, superando el componente primario iniciado al inicio del ejercicio. Esta respuesta del VO₂ es conocida como Componente lento de VO₂ [55]. Por lo que se entiende que los niveles de entrenamiento se deben de definir en relación con el umbral de potencia y no con respecto a la potencia al VO_{2max}.

Frecuencia cardíaca – FC

Los monitores de FC son dispositivos que se han convertido en una de las herramientas más utilizadas en el mundo del deporte. Debido a la relación lineal que tiene con el VO_2 , se establecen zonas de trabajo en función a la FC máxima y por tanto se puede determinar el nivel de cada uno de los deportistas. Sin embargo, algunas variables pueden modificar la respuesta de la FC como puede ser el calor, nivel de deshidratación, tipo de ejercicio, desnivel, deriva cardíaca, etc. [45,46].

Impulso de entrenamiento – TRIMP

Este método se basa en la FC y fue propuesto por Banister y col [29]. Además de la frecuencia cardíaca tiene en cuenta la duración del ejercicio en minutos, y muestra la densidad de carga de una sesión de entrenamiento [6,56].

Umbral de potencia funcional – FTP

La FTP suele definirse como la máxima potencia que se puede mantener durante 45-60 min y se suele evaluar mediante pruebas de contrarreloj sobre el terreno [50]. En muchas ocasiones no se calcula directamente, sino que se estima utilizando la prueba de laboratorio, lo que aumenta el potencial de errores de medición con respecto a la FTP [56,57].

Puntuación de estrés – TSS

Se requiere de la cuantificación de potencia, y es actualmente el más utilizado para determinar el estrés de un entrenamiento o parte de este. Se requiere del tiempo que dura el entrenamiento, así como del umbral de potencia [56]. Para poder calcular esta variable se requiere de la potencia normalizada (estimación de la potencia que podría haber mantenido con el mismo coste fisiológico si la potencia se hubiera mantenido constante) y/o el factor de intensidad, relación entre la potencia normalizada y el umbral de potencia funcional (FTP), que da al deportista una intensidad relativa [58].

Este tipo de estudios permiten obtener información para una mayor comprensión de la competición y una base para entrenadores, con el objetivo de adaptar los entrenamientos a dichas exigencias, y para que cada equipo conozca los diferentes perfiles de ciclistas y puedan desarrollar las diferentes estrategias grupales de cara a cada una de las competiciones.

Sanders y col [56] determinaron que los TRIMP son útiles para valorar las mejoras fisiológicas a través de los entrenamientos, pero según Coggan [50] la

carga externa del entrenamiento se debe de basar en el TSS, que incorpora datos relativos a potencia.

1.2.3 Contrarreloj

Las pruebas más utilizadas hasta el momento para evaluar los marcadores de rendimiento de los ciclistas y las variables fisiológicas son los llevados a cabo en el ámbito del laboratorio, con test incrementales hasta el agotamiento. En estos test se determina la potencia media realizada durante la prueba, el $VO_{2máx}$, umbrales respiratorios, etc. [59,60]. Sin embargo, hace unos años se han comenzado a realizar pruebas de contrarreloj, con el fin de alcanzar una mayor especificidad y por lo tanto acercarse a la realidad de la competición [61].

Estas contrarrelojes pueden ser de dos tipos, 1) los ciclistas deben de recorrer una distancia en el menor tiempo posible (contrarreloj con limitación de distancia) y 2) deben de recorrer el mayor número de metros que puedan en un tiempo determinado (contrarreloj con limitación temporal). En estas pruebas se pueden obtener valores más cercanos a la realidad, ya que pueden cambiar de cadencia durante todo el tiempo de prueba y por tanto producir la potencia que puedan en cada uno de los momentos del test. Las pruebas más válidas son las de 40 km, pero el tiempo que se requiere para poder hacerla se convierte en un problema [62–65]. Por lo que actualmente se están empleando contrarrelojes más cortas, siendo la que más destaca la contrarreloj de 5 km [60], mostrando valores fiables y los mismos parámetros evaluados que en las pruebas incrementales.

En un estudio llevado a cabo por Sanders y col [6] determinaron que las contrarrelojes son las más intensas, y por tanto las pruebas que mayor acumulación de acidez provocan (ya que la mayoría del tiempo se encuentran con potencias superiores al MLSS), al igual que lo reflejado en otros estudios anteriores que coinciden en que son las etapas con mayor dureza [14,42,43]. En línea con ello, se llevó a cabo un estudio donde se evaluó la intensidad y carga de trabajo llevado a cabo por los ciclistas profesionales del Giro de Italia de 2016 [6]. En este estudio se determinó que la contrarreloj es la etapa más intensa en comparación con el resto, mostrando valores superiores en todos los parámetros registrados, y donde se determina que en estas etapas los ciclistas deben de

vencer una mayor resistencia de pedaleo por km, lo que implica un mayor esfuerzo (Tabla 3).

Tabla 3. Carga de trabajo e intensidad de las carreras de una Gran Vuelta. Tabla adaptada de Sanders y col [6].

	Etapa llana	Etapa de media montaña	Etapa de alta montaña	Contrarreloj
FC (lat/min)	125 ± 9	128 ± 4	141 ± 10 ^{a,b}	177 ± 10 ^{a,b,c}
Fcpico (lat/min)	177 ± 10	173 ± 4	177 ± 11	184 ± 12
%Fcmáx (lat/min)	67 ± 5	67 ± 2	76 ± 5	97 ± 2
Potencia media (W)	196 ± 29	217 ± 20 ^a	254 ± 19 ^{a,b}	371 ± 47 ^{a,b,c}
Potencia relativa (W/kg)	2,68 ± 0,32	2,99 ± 0,27 ^a	3,50 ± 0,31 ^{a,b}	5,14 ± 0,79 ^{a,b,c}
TSS (km-1)	1,14 ± 0,19	1,32 ± 0,20	1,97 ± 0,31 ^{a,b}	3,39 ± 1,39 ^{a,b,c}
TRIMP (km-1)	1,55 ± 0,13	1,52 ± 0,14	2,10 ± 0,15 ^{a,b}	3,39 ± 0,17 ^{a,b,c}
TSS_{TOT} (UA)	217 ± 46	280 ± 40 ^a	329 ± 83 ^{a,b}	62 ± 32 ^{a,b,c}
TRIMP_{TOT} (UA)	298 ± 33	311 ± 53	359 ± 80 ^a	32 ± 32 ^{a,b,c}

FC: frecuencia cardíaca; FC_{pico}: máximo valor de frecuencia cardíaca alcanzado; FC_{máx}: frecuencia cardíaca máxima; PM: potencia media; PR: potencia relativa; TSS: score de estrés de entrenamiento; TRIMP: impulso de entrenamiento; UA: unidades arbitrarias. (a) Significativamente diferente a etapa llana; (b) Significativamente diferente a etapa de media montaña; (c) Significativamente diferente a etapa de alta montaña.

1.2.4 Perfil de potencia de los ciclistas profesionales

Entrenar y competir con un medidor de potencia se ha convertido hoy en día en la norma de muchos ciclistas de élite. Las mediciones de la potencia permiten evaluar las zonas de intensidad de entrenamiento y de carrera de los ciclistas, atendiendo a las habilidades de cada uno de ellos [66]. Algunos estudios han demostrado que los niveles de potencia y la duración del ejercicio están directamente relacionadas y, por tanto, hay que tenerlo en cuenta para poder determinar las zonas de intensidad de cada ciclista a partir de la potencia [67,68]. Monod y Scherrer fueron los pioneros en llevar a cabo esta relación a partir de una función hiperbólica [69], pero solo teniendo en cuenta ejercicios musculares locales. A partir de entonces, se ha ido desarrollando un modelo fisiológico del rendimiento de carrera [70,71] proporcionando un análisis de los récords mundiales de competición. La relación de la potencia frente al tiempo refleja la ley

fisiológica que establece que cuanto mayor es la intensidad del ejercicio, menor es el tiempo de ejercicio según una disminución hiperbólica. Sin embargo, pocos estudios han investigado la relación de potencia y tiempo en una competición de ciclismo de carretera. Algunos estudios [42,43,49,72] analizaron la potencia media máxima durante la competición para poder determinar la capacidad del ciclista de poder producir potencia en diferentes duraciones que oscilaron entre los 5 segundos y los 30 min. Jones y col [68] después de una prueba hasta el agotamiento, definieron 3 dominios de intensidad según el concepto de potencia crítica (la máxima tasa de trabajo que puede ser sostenida por un prolongado período de tiempo (Hopker y Jobson, [73])). Estos 3 dominios son: zona de potencia crítica, es decir, ejercicio severo; zona de intensidad entre el umbral de lactato y la potencia crítica; y zona de ejercicio de intensidad moderada (debajo del umbral de lactato). Posteriormente, Francis y col [67] determinaron 5 zonas: zona 1, intensidad moderada; zonas 2-3, intensidad fuerte; y zonas 4-5, intensidad severa.

En un estudio llevado a cabo recientemente, determinan la importancia de conocer el perfil de los ciclistas, pero teniendo en cuenta que la relación potencia – duración varía en función de los diferentes tipos de carrera y de las habilidades de los ciclistas [74]. Este estudio muestra que la importancia relativa de ciertos puntos del espectro de potencia-duración varía con los diferentes tipos de carrera y proporciona una visión de los puntos de referencia para lograr un resultado en una carrera ciclista World Tour. Registraron los datos de potencia de los 5 primeros ciclistas de las carreras del World Tour, entre 2012 y 2019, para cada uno de los tipos de carreras (sprint plano, carrera de semimontaña con final en subida, carrera de semimontaña con final de sprint y carrera de montaña) y se evaluó la potencia media máxima (absoluta y relativa) para duraciones de entre 5 segundos y 60 min. Los rendimientos de potencia de corta duración (< 60 segundos), tanto en términos relativos como absolutos, son de mayor importancia para tener éxito en la carrera de sprint plano y en la carrera de semimontaña con final al sprint. Los rendimientos de potencia de mayor duración (≥ 3 min) son más importantes para tener éxito en la carrera de media montaña con final en cuesta y en las carreras de montaña. Además, la potencia relativa de > 10 min parecen ser un factor determinante para el éxito en las carreras de montaña. Esta potencia media máxima es de gran importancia para el tipo de carrera (es decir, de corta duración

para las llegadas al sprint, de mayor duración para las carreras con más desnivel) [74].

En línea con ello, diversos autores han determinado una relación entre los parámetros de $VO_{2máx}$, lactato, potencia umbral, etc. y el rendimiento de una contrarreloj de ciclismo [75]. Los datos registrados en este tipo de pruebas no difieren de la potencia producida durante una contrarreloj real [64], además, algunos autores han demostrado ser un predictor válido del rendimiento de los ciclistas [21,72]. Esto ocurre a diferencia de otro tipo de pruebas, donde no solamente se deben tener en cuenta las variables fisiológicas de los ciclistas, el impacto de la táctica de cada uno de los equipos, que pueden alterar significativamente el resultado de las etapas, sino que también el resto de las carreras que se caracterizan por periodos de potencia sostenida, periodos con potencias altas, bajas, etc. [13]. Es por ello por lo que el ganador de una carrera no necesariamente será el que mayor producción de potencia sostenible tenga, sino que el ciclista que genere más potencia en un periodo o periodos críticos durante la carrera (de ahí la importancia táctica del equipo).

El perfil de potencia en una prueba de laboratorio determina la capacidad máxima de un ciclista para producir potencia durante periodos de tiempo que se encuentran, normalmente, en las etapas de competición. Sin embargo, las condiciones de medición de laboratorio de este perfil y las condiciones de competición difieren mucho, por lo que también lo pueden hacer las potencias registradas en cada una de ellas [72].

1.3 SUPLEMENTACIÓN DEPORTIVA

La búsqueda de la excelencia en el deporte de élite se obtiene realizando entrenamientos regulares y bien planificados [76]. Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en la mejora del rendimiento físico – deportivo es tener una buena dieta y alimentación. Una dieta adecuada es uno de los principales factores en la mejora del rendimiento físico. Sin embargo, cuando se habla de deportistas de alto nivel, la dieta no es suficiente para satisfacer las demandas energéticas a las que se ven sometidos en cada uno de los entrenamientos y competiciones [77]. Algunos deportistas piensan que el uso de

suplementos nutricionales es innecesario si se lleva una buena dieta, completa y equilibrada [78]. Sin embargo, la búsqueda de una nutrición óptima ha ido ganando fuerza entre los atletas a medida que el nivel de competición de los deportistas se ha vuelto más exigente [79–81]. Como consecuencia, han ido apareciendo a lo largo de los últimos años diferentes complementos nutricionales y ayudas ergogénicas para poder permitir un aumento del rendimiento en los deportistas, sobre todo en los más jóvenes [77,82,83]. Según la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN) una ayuda ergogénica es cualquier método de entrenamiento, dispositivo mecánico, enfoque nutricional o farmacológico o técnica psicológica que puede mejorar la capacidad de ejecución del ejercicio y / o mejorar las adaptaciones al entrenamiento. Por tanto, una ayuda ergogénica nutricional se define como aquellos complementos nutricionales tomados por vía oral que contienen un ingrediente nutricional que pretende complementar la dieta [84,85]. Estos avances nutricionales no solo están enfocados en la ayuda a la mejora del rendimiento, también, en la recuperación, la salud y el bienestar de los deportistas [86].

La aplicabilidad y beneficios que ofrece en el deporte hace que cada día sean más los deportistas que consumen este tipo de ayudas. En un estudio llevado a cabo por Frączek y col [83] determinaron que el 48,2% de los deportistas consumían suplementación, y la mayoría de ellos (75,4%) consumían bebidas isotónicas como ayuda ergogénica para mejorar su rendimiento. Sin embargo, estos datos han ido en aumento en los últimos años siendo más común el uso de estas ayudas, no solo en deportistas profesionales, sino también en deportistas amateur. Los deportistas que consumen suplementos sobre aquellos que eligen no hacerlo, parecen reflejar la falta continua de conciencia de los atletas sobre la efectividad, seguridad y beneficios que tienen para la salud las ayudas ergogénicas que mejoran el rendimiento físico [76]. Se estima que entre el 40-100% de los deportistas de élite toman algún tipo de suplementación, y que dicha ayuda depende de las características y la preparación del deporte que practican [80]. Aunque no solo hay que tener en cuenta la disciplina deportiva que practiquen, sino que también cobra importancia el sexo de los deportistas, si son mujeres u hombres, ya que hasta la fecha es mayor el consumo en estos últimos. Además, otra variable a considerar es la edad, ya que se observa un incremento de su uso a medida que se avanza en la edad [87].

El culturismo es actualmente el deporte con mayor tasa de suplementación, reportando que el 95% de los deportistas que lo practican consumen al menos un suplemento/año. El ciclismo, el atletismo, el triatlón y los deportes acuáticos en general también se les considera de los deportes con más frecuencia de uso de suplementos dietéticos [79]. El número de horas de entrenamiento y de competición son uno de los principales determinantes en el uso de suplementación [80]. Normalmente, los deportistas de resistencia son los que utilizan más suplementos dietéticos en comparación con los deportistas de competiciones de corta duración [88] o basados ejercicios de corta duración y alta intensidad [79,88].

De todos los suplementos que actualmente se encuentran en el mercado para la mejora del rendimiento, los suplementos que más se utilizan en deportistas de alto nivel son los aminoácidos, proteínas, creatina y cafeína [89]. Uno de los suplementos que se han incorporado más recientemente a la lista de ayudas ergogénicas del Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos (NIH) [89], y no se considera una sustancia prohibida por la Agencia Mundial Antidopaje (WADA) [90], es la β -alanina, un compuesto que está generando interés en el mundo científico y deportivo, ya que genera una mejor tolerancia a la acidez y prolonga el tiempo de aparición de la fatiga en ejercicios de alta y corta intensidad. La β -alanina [81,84], tiene una buena evidencia científica, bien fundamentada, que determina que la suplementación con esta ayuda ergogénica aumenta las concentraciones intramusculares de carnosina [91–93]. Además, el consumo de esta ayuda ergogénica se observa en diferentes tipos de deporte, ya sean de resistencia o de fuerza [94] utilizándose en el mundo del ciclismo en pruebas de tipo contrarreloj o cronoescalada.

1.3.1 Beta alanina como agente ergogénico

La β -alanina (ácido 3-aminopropanoico) es un aminoácido no esencial, que se sintetiza en el hígado mediante la degradación del uracil [95] y puede ser ingerida de dos formas diferentes, por la dieta, mediante alimentos proteicos de origen animal o por la suplementación [96], ya sea de β -alanina, carnosina u otros dipéptidos que se sintetizan a partir de la L-histidina [97]. El aporte de este aminoácido a través de la fuente dietética es muy pequeño. La razón de ello es

que solamente se encuentra en alimentos de origen animal, como la carne, aves y pescado. Sólo una persona con exceso de consumo de carne podría llegar a valores de 1 gramo (g)/día [84,97,98] (por ejemplo, 200 g de pechuga de pollo contienen ~800 miligramos (mg) de β -alanina [99]), por lo que se hace necesario recurrir a la suplementación si se quiere obtener los beneficios de dicho aminoácido.

La β -alanina es un tipo de aminoácido no proteogénico, es decir, no es utilizado para la formación de proteínas [94]. Este aminoácido cuando se ingiere pasa al plasma sanguíneo por donde viaja hasta llegar al músculo esquelético. La captación de β -alanina al interior del músculo está mediada principalmente por un transportador de membrana, TauT, una proteína de transporte de β -aminoácidos específica, también responsable de la captación de taurina en el músculo, que depende de las concentraciones estequiométricas de sodio (Na^+) y cloro (Cl^-) en un 2:1:1 (relación $\text{Na}^+ : \text{Cl}^- : \beta$ -aminoácido) [100]. Este transportador de β -alanina, TauT, en las células musculares tienen una afinidad alta en comparación con los niveles normales de β -alanina que se encuentran en la sangre [99]. Es por ello por lo que se requiere que estos niveles circulantes aumenten para que pueda aumentar el transporte hacia el interior del músculo. Además, existe otro transportador que permite la entrada de β -alanina a las células musculares, este transportador es el PAT1. Sin embargo, su contribución es mínima si se compara con el transportador TauT [101].

Una vez que la β -alanina se encuentra en el interior del músculo se une con la L-histidina. La unión de estos dos aminoácidos se produce mediante una reacción catalizada por la carnosina sintetasa, y es la que genera la síntesis de carnosina, un dipéptido formado por β -alanina e L-histidina, que se encuentra en el músculo esquelético. Es por ello por lo que la β -alanina no ofrece ningún beneficio ergogénico por sí sola [94,102]. Sin embargo, la enzima carnosina sintetasa tiene una mayor afinidad por la β -alanina que por la L-histidina [102,103]. Esta alta afinidad [104] junto con un bajo contenido en el músculo [105] y frente a una alta cantidad de la L-histidina y una baja afinidad para la carnosina sintetasa [106], hace que la β -alanina sea el precursor limitante de la síntesis de carnosina [99].

La enzima carnosina sintetasa es una enzima hidrolítica que se encuentra en el suero y en los tejidos [107] y es la encargada de degradar activamente la

carosina en sus aminoácidos constituyentes [108]. La carnosinasa sérica (carnosinasa-1) es muy específica para la carnosina, sin embargo, la carnosinasa en los tejidos (carnosinasa-2) tiene una especificidad de sustrato mucho más amplia [109]. A pesar de que se encuentra en el interior del músculo esquelético como dipeptidasa citosólica inespecífica, la carnosinasa-2 sólo funciona de forma óptima con un pH de 9,5 [107,110], muy por encima del pH que se encuentra de manera normal en el interior de las células, por lo que tiene muy poca influencia en los niveles de concentración a nivel muscular.

La carnosina ingerida o análogos de dipéptidos que contienen histidina, como la anserina [109], mediante la dieta o por suplementación se puede hidrolizar a β -alanina e histidina antes de llegar al torrente sanguíneo [111]. Sin embargo, la mayoría de la carnosina llegará al plasma, donde es la carnosinasa-1 quién se encargará de hidrolizar rápidamente la carnosina en β -alanina e histidina. Esta es la razón de que se encuentren pocas concentraciones de carnosina en sangre [112], convirtiéndose la carnosinasa-1 en la determinante de los niveles de carnosina circulante después de la ingestión de carnosina [113].

Las células musculares no son capaces de captar la carnosina circulante del torrente sanguíneo, ya que no existen transportadores específicos, por lo que los niveles intramusculares dependen exclusivamente de la síntesis del aminoácido esencial L-histidina y la β -alanina producida a nivel hepático [114]. Es posible poder ingerir carnosina a través de la dieta, pero debe de escindir en L-histidina y β -alanina (por la enzima carnosinasa) antes de que llegue al torrente sanguíneo, razón por la cual las concentraciones extracelulares de carnosina son muy bajas [115,116] (Figura 1).

Es por ello que el incremento de las concentraciones de carnosina muscular no se puede realizar mediante la ingesta de forma oral, ya que el organismo no es capaz de absorber directamente la carnosina desde el torrente sanguíneo [117]. Las bajas concentraciones de β -alanina en el músculo se debe a que la síntesis de β -alanina se limita a la producción hepática, en comparación con los niveles de L-histidina y carnosina sintetasa [118]. Como consecuencia, los niveles de carnosina muscular están limitados por la β -alanina ingerida [94], por lo que si se incrementa el consumo de β -alanina de forma eficaz, la cantidad de carnosina en el cuerpo también se incrementará [119]. Se ha observado que en deportistas entrenados, dosis puras de entre 4 y 6 g de β -alanina durante varias semanas (4-

10 semanas), puede aumentar los niveles de carnosina muscular en un 40-80% [91,99,114,120–122]. Mientras que en personas activas, pero no entrenadas, dosis de 4,8 g de β -alanina durante 5-6 semanas, aumentó el contenido de carnosina, pero después de 9 semanas de seguimiento los niveles oscilaron alrededor del 2-69% [114,123].

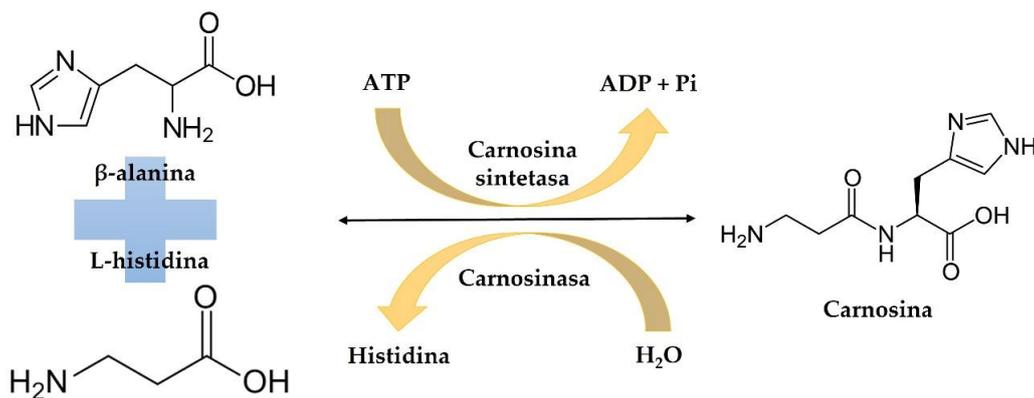


Figura 1. La β -alanina y la L-histidina reaccionan a través de la acción de la enzima carnosina sintetasa a expensas de adenosín trifosfato (ATP) para producir una molécula de carnosina, ADP y fosfato inorgánico (Pi). Elaboración propia.

Hasta el momento, con las dosis con las que se ha trabajado en la literatura científica, no se ha visto reducciones significativas en las concentraciones de L-histidina. Algunos autores determinan que una suplementación suprafisiológica de β -alanina podría ocasionar que haya un déficit de L-histidina en plasma y músculo, y que, por tanto, repercutiese en la síntesis de carnosina. En esta misma línea, un metaanálisis llevado a cabo por Dolan y col [93] determinaron que existen muy pocos estudios al respecto, y que es posible que un aumento en las dosis de β -alanina si puede ocasionar una disminución significativa de L-histidina. Es por ello por lo que determinan que se haría necesario que junto a la β -alanina se suplemente con L-histidina.

1.3.2 Carnosina

La carnosina, es conocida también como beta-alanil – L-histidina. La homeostasis de la carnosina depende de la síntesis y degradación de sus aminoácidos constituyentes. Se sintetiza en una reacción catalizada por la enzima

carnosina sintetasa no específica, ubicada en el músculo esquelético [124]. Principalmente se encuentra en el músculo esquelético en altas concentraciones (5-8 mmol/L de peso húmedo), lo que hace de la carnosina uno de los compuestos moleculares intramusculares más abundantes [99].

La carnosina, comúnmente conocida como el tampón intramuscular, actúa principalmente cuando existe una acidosis muscular, es decir, cuando se requiere de un sistema de amortiguación eficaz [115] provocado por actividad de altas demandas energéticas por unidad de tiempo. En estos momentos, se acumula ácido láctico y por tanto aumentan los niveles de H^+ que se disocia en lactato, provocando una disminución de la fuerza y la aparición de la fatiga [119,125]. Por lo que su función principal es ayudar a la amortiguación de los cambios de pH muscular debido a la glucólisis anaeróbica [98]. Por lo tanto, si se consigue tener niveles más altos de carnosina en el músculo se conseguiría atenuar la reducción del pH por ejercicio físico, neutralizando los protones de H^+ , retrasando la aparición de la fatiga y mejorando el rendimiento en actividades intensas de corta y media duración [98].

Teniendo en cuenta los componentes de la carnosina muscular, se podría determinar que el consumo de ambas o de la L-histidina (aminoácido esencial) provocaría el aumento de los niveles de concentración. Sin embargo, la enzima carnosina sintetasa es la encargada de sintetizar carnosina a través del ATP, el cual posee más afinidad por la L-histidina que por la β -alanina. Esta es la razón por la que se hace necesario la suplementación con β -alanina para mejorar los niveles de carnosina muscular [126] (Figura 2).

El primer estudio que realizó biopsias musculares para poder determinar que la ingesta de β -alanina aumenta las concentraciones musculares de carnosina fue realizado por Harris y col [99]. En este estudio se determinó un aumento del 40-60% en el vasto lateral medido mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Posteriormente, se han corroborado los resultados utilizando la misma técnica [92,105,127-129] o mediante espectroscopia de resonancia magnética de protones [130-135]. A pesar de que casi todas las personas aumentaron las concentraciones de carnosina muscular después de un periodo de suplementación de β -alanina, hubo gran variedad de resultados, entre estudios y dentro de cada uno de ellos, lo que demuestra que existen diversos factores que influyen en los niveles de carnosina. Estos factores pueden ser modificables, que

hacen referencia a todo lo que puede repercutir en la ingesta de suplementación de β -alanina (dosis, duración, combinación de β -alanina con otro tipo de aminoácidos, etc.) y factores no modificables, que dependen de la propia persona que ingiere el producto (edad, género, si presentan o no enfermedad, sedentaria-activa, etc.). Aunque se han detallado grandes aumentos de los niveles de carnosina muscular, la evidencia sugiere que la incorporación real de β -alanina en carnosina muscular es baja. De las dosis ingeridas de β -alanina, el 90% de ella se utiliza con otros fines fisiológicos, pudiendo incluirse la transaminación y oxidación [136]. Otras cantidades pequeñas, 3% se elimina mediante la orina [99] y el resto (~3-6%) es el que se convierte en carnosina muscular [91,137,138]. El fin de aumentar la suplementación de β -alanina se hace con el objetivo de que haya una mayor disponibilidad y, por tanto, una mayor optimización en su incorporación en el músculo. Parece razonable esperar que cualquier cambio en el contenido de carnosina muscular vaya acompañado de cambios en las proteínas implicadas en su metabolismo.

Hasta la fecha, se desconocen las razones del aumento de estas concentraciones de forma diferente en cada uno de los sujetos que se suplementan con β -alanina, ni el momento en el que estas concentraciones son las óptimas después del consumo. En el estudio llevado a cabo por Everaert y col [101] realizado con ratones, se observó una regulación positiva de varios genes relacionados con la homeostasis de la carnosina después de una suplementación con β -alanina durante 8 semanas. Esta regulación positiva de genes se observó en las enzimas relacionadas con el transporte de la β -alanina al interior del músculo (TauT), la síntesis de carnosina muscular y la desaminación de la β -alanina. En el único estudio llevado a cabo con humanos para medir los cambios en la expresión génica, se realizó con una suplementación de 6,4 g/día de β -alanina durante un total de 24 semanas. En este estudio se mostró una regulación negativa crónica de TauT y ningún cambio significativo en los demás [127]. Las diferencias entre ambos estudios apuntan a que sería clave el momento del muestreo muscular. En el estudio llevado a cabo con ratones se desconoce en qué momento recibieron la última dosis de β -alanina antes del análisis [101], mientras que si se conoce en qué momento se llevó a cabo en el estudio con humanos, donde siempre se tomaron las muestras en las mismas condiciones y con una diferencia de 4 horas con respecto a la última ingesta de β -alanina [139].

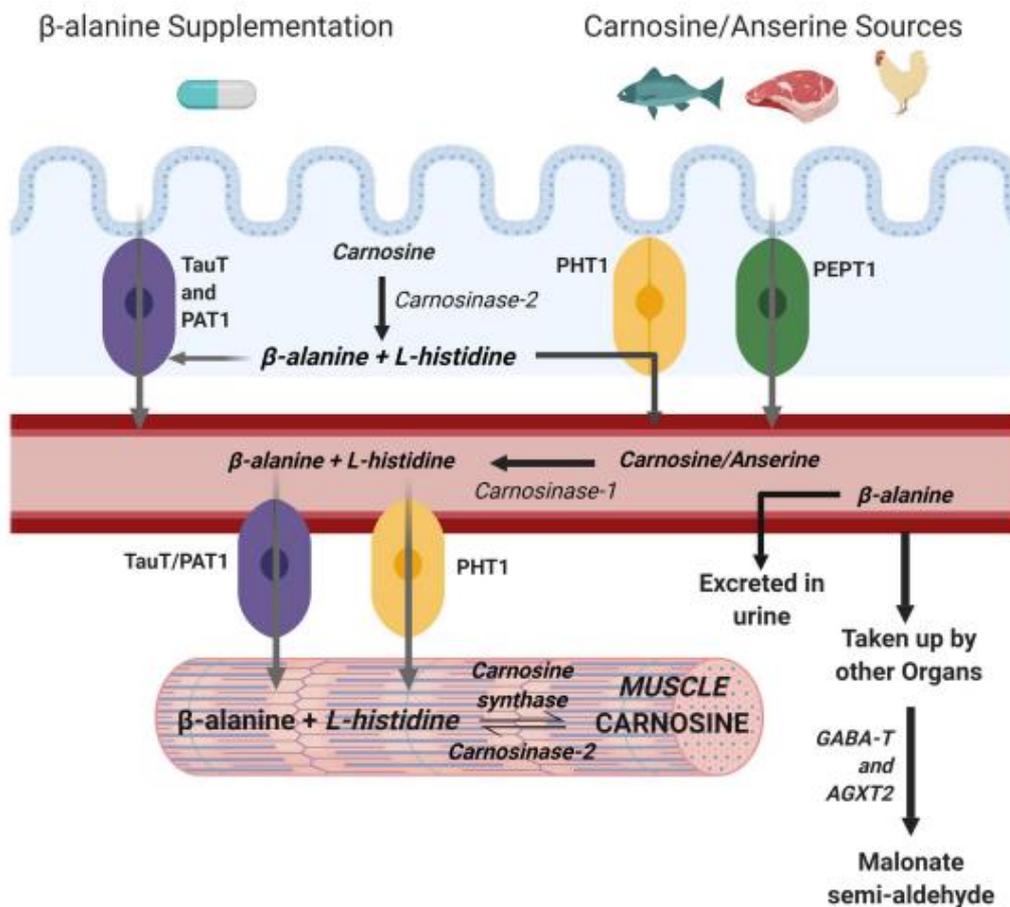


Figura 2. Captación de β-alanina a las fibras musculares y síntesis de carnosina muscular. El consumo de β-alanina puede realizarse mediante alimentos proteicos o por suplementación. La enzima encargada de extraer la β-alanina de los dipéptidos es la carnosinasa (siendo esta actividad en el torrente sanguíneo). La captación de β-alanina en el músculo está mediada principalmente por TauT, una proteína específica de transporte de β-aminoácidos también responsable de la captación de taurina en el músculo que depende del gradiente de la bomba Na⁺/ potasio (K⁺) ATPasa. En el interior del músculo, la carnosina sintasa se encarga de unir la β-alanina con la L-histidina para generar carnosina muscular. Figura sacada de Perim y col [103].

1.3.3 Funciones fisiológicas

La carnosina ejerce el efecto ergogénico asociado a diversas funciones fisiológicas como la actividad antioxidante, la prevención de las reacciones de

glicación de las proteínas, el aumento de la sensibilidad del calcio en las células contráctiles [121,122] tipo I y tipo II, y una gran capacidad de amortiguación intracelular de H^+ [102,140]. De estas funciones la más importante es la que tiene como rol regulador (buffer) del pH. La carnosina permite que durante el ejercicio físico de alta intensidad y actividades físicas que requieren de glucosa para la obtención de energía, el pH no disminuya considerablemente y por tanto no se provoque una acumulación de H^+ en las células musculares, es decir, una acidosis láctica [141]. En relación a la peroxidación lipídica, se le puede atribuir otra de las funciones de la carnosina, que es el efecto antioxidante, actuando como un posible protector de las membranas celulares [140]. La carnosina se convierte en la defensa contra los cambios en el equilibrio ácido – base [142].

1.3.4 Factores que influyen

En personas sanas el contenido de carnosina intramuscular es de aproximadamente 20 mmol/kg de músculo seco. Sin embargo, el contenido intramuscular de carnosina puede variar por diversos factores [99,121].

Teniendo en cuenta que la β -alanina es el precursor limitante de la síntesis de la carnosina, la cantidad de alimento de origen animal determinará los niveles de carnosina muscular. Por ejemplo, una persona vegetariana, cuya única fuente de β -alanina es la producción endógena, tiene niveles más bajos de carnosina intramuscular (~26%) en comparación con los omnívoros [143], pero esta evidencia es aún escasa [143,144]. La razón de que esta evidencia sea escasa es debido a que en un estudio llevado a cabo por Blancquaert y col [145] observaron que los omnívoros, los cuales modificaron su dieta a una vegetariana durante 6 meses, no redujeron sus concentraciones de carnosina muscular. Esto sugiere que la homeostasis de la carnosina no depende solamente de la ingesta dietética, sino que está también regulada por otro tipo de factores. A pesar de los resultados encontrados en este estudio, los propios autores determinan que no es cuestionable que sea necesario la ingesta de β -alanina para que los aumentos de los niveles de carnosina muscular sean significativos [145], afirmando que la suplementación es el medio más efectivo para lograr dicho objetivo.

El factor más determinante que se conoce es el tipo de fibras musculares [99]. El análisis de una fibra muscular en humanos, basado en la técnica HPLC,

mostró que las fibras musculares de contracción rápida (fibras tipo II – anaeróbicas) contienen entorno al 30-100% de los niveles de carnosina en comparación con las fibras de contracción lenta (fibras tipo I – oxidativas) [98,121,122]. Mannion y col [146] y Suzuki y col [147] determinaron que existe una correlación positiva entre el tipo de fibra muscular y el contenido de carnosina muscular lo que muestra que los niveles de carnosina muscular dependerá del tipo de deporte que se realice/analice. Por ejemplo, un velocista de élite se caracteriza por disponer de mayor cantidad de fibras tipo II, por lo que tendrá mayores contenidos de carnosina muscular en comparación con los corredores de maratón [148]. Esta distribución se debe a la función de amortiguación intramuscular que tiene la carnosina, donde se hace necesario que existan niveles más elevados en las fibras glucolíticas anaeróbicas [149].

Otro de los factores limitantes de las concentraciones de carnosina es el género y la edad, siendo los hombres los que pueden llegar a tener concentraciones más elevadas que las mujeres, y en donde este contenido intramuscular de carnosina disminuye a medida que pasan los años (~16%) [150]. Esto podría determinar que son los niveles de testosterona uno de los factores reguladores de la carnosina intramuscular [150].

El último factor a tener en cuenta es la relación del ejercicio físico en los niveles de carnosina intramuscular. Actualmente, existe poca evidencia científica y además, la que hay, en algunas ocasiones es contradictoria [102]. Estudios como el de Suzuki y col [151] demostraron obtener un aumento significativo en los valores de carnosina intramuscular después de 8 semanas de entrenamiento intensivo. Sin embargo, otros estudios con una duración entre 4-16 semanas de entrenamiento isocinético, no señalaron obtener diferencias significativas [122,152]. Teniendo en cuenta los mecanismos de acción de la carnosina intramuscular, se cree que el ejercicio físico de alta intensidad en periodos prolongados es el responsable de fomentar, de forma más eficiente, la síntesis de carnosina muscular [103,153]. Además, se ha determinado que la carnosina muscular se acumula en mayor medida en los músculos más entrenados [123], lo que podría suponer que los deportistas más entrenados pueden aumentar los niveles de carnosina mediante la suplementación con β -alanina, en mayor medida que deportistas poco entrenados. Es por ello que los resultados encontrados en otros estudios pueden ser debido a la muestra analizada en cada uno de ellos.

1.3.5 Efectos secundarios

De todos los estudios encontrados hasta el momento, el principal efecto secundario que se reporta con el suplemento de la β -alanina son las parestesias. Esta sintomatología es una sensación de prurito, picazón, hormigueo en el cuerpo, sobre todo en la zona de la cara, el cuello, zona alta de la espalda y el pecho y las extremidades, en el dorso de las manos [96]. Esta sensación es transitoria y aumenta a medida que lo hacen las concentraciones de β -alanina en el plasma sanguíneo [96]. Se experimenta en personas que consumen más de 800 mg de β -alanina de liberación no sostenida [99]. Por lo que la mayoría de las recomendaciones actuales de ingesta de β -alanina para reducir la incidencia de las parestesias oscila entre dosis escalonadas de 800 mg a 1,6 g cada 3-4 horas [99]. Además, el consumo de β -alanina en dosis de entre 1,6 a 6,4 g/día con una duración máxima de 8 semanas es segura para las personas que lo consumen [154], no encontrando ningún evento adverso [93].

La sintomatología de las parestesias es diferente en cada individuo, pudiendo o no sentir las o incluso determinar un grado de intensidad diferente [154,155]. En el momento de comenzar a sentir dicha sensación, lo normal es que tengan una duración de entre 10 a 30 min. Generalmente, estudios donde no se utiliza β -alanina de liberación sostenida, las parestesias desaparecen entre 60 y 90 min después de la suplementación [99,156]. Después de este periodo de tiempo desaparecen y no dejan ningún tipo de secuela. Hay otros estudios que determinan que el tipo de ingesta y de producto repercute en la aparición o no de las parestesias. Dosis más pequeñas a lo largo del día y el uso de β -alanina con una liberación prolongada o sostenida podría repercutir en la atenuación de dicha sintomatología [39,75].

El mecanismo fisiológico de esta sintomatología aún se desconoce. Existen estudios que han utilizado las mismas pautas o pautas similares de ingesta y producto, en algunos de ellos no determinan ningún tipo de efecto secundario [157,158] y en otros si se detallan parestesias de intensidad moderada o severa [159–161]. Hasta el momento, no hay evidencias científicas que determinen si estas parestesias suponen un riesgo para el humano o si repercute en el rendimiento de los deportistas. Bellinger y Minahan [162] determinaron que algunos ciclistas asociaban las parestesias a un aumento de energía, pudiendo

obtener valores de rendimiento superiores, aunque no es lo normal, ya que la mayoría de las personas determinan que son una sensación incómoda y desagradable (pudiendo repercutir negativamente en el rendimiento).

Existe actualmente una hipótesis, que determina que la sintomatología está asociada al gen Mas (MrgprD) [77], por lo que puede tener mayor peso el determinar que la sintomatología depende de la persona y no del producto. Hasta el momento se entiende que la β -alanina es la responsable de la activación de los genes MrgprD [163], o receptores asociados a la proteína G específicos de neuronas sensoriales. Esta activación en la vía neural dependiente de histamina se ocasiona debido a la unión de la β -alanina a receptores neuronales periféricos del gen MrgprD [163]. Es por ello por lo que se cree que la causa que provoca las parestesias es debida a los receptores de glicina, los cuales son sensibles a la estricnina activados por la presencia de β -alanina. Estos se encuentran asociados al mismo tiempo con los receptores de N-metil-D-aspartato, los cuales son sensibles al glutamato, sobre todo en el cerebro y en el sistema nervioso central [164]. Además de los genes relacionados con los receptores acoplados a la proteína G, que se desencadenan por interacción con la β -alanina [165]. A pesar de todo lo comentado, no es un mecanismo corroborado por otros estudios, sin embargo, no cabe duda de que la intensidad y aparición de las parestesias se encuentran relacionadas con el tiempo de concentración de β -alanina en el torrente sanguíneo después de la ingestión [99], por lo que se han desarrollado diferentes formulaciones de β -alanina de liberación sostenida, con el fin de evitar dicho efecto secundario. La ventaja de estas nuevas formulaciones es que, al reducir la sintomatología de las parestesias, permite aumentar las dosis tolerables de β -alanina, por lo que se puede administrar dosis diarias mayores. Este aumento conduce a un aumento de las concentraciones de carnosina muscular durante el periodo inicial de suplementación [129,166].

Además de este efecto secundario reportado, en la mayoría de los estudios llevados a cabo con β -alanina se ha observado que existe una disminución en los niveles de concentración de taurina a nivel intramuscular [154]. La razón de esta disminución es debida a que la β -alanina no tiene un transportador específico y requiere del transportador Tau-T para introducirse en el interior del músculo esquelético. Este transportador es el mismo que requiere la taurina y en el momento en el que coinciden ambos en el torrente sanguíneo, es más afín a la β -

alanina, por lo que la β -alanina inhibe la captación de taurina en el interior del músculo [167]. La β -alanina reduce, en aproximadamente un 50%, los niveles de taurina circulante [168]. Harris y col [99] determinó que el consumo de β -alanina durante 4 semanas hace aumentar los niveles de concentración plasmática de taurina, sin una disminución significativa de la taurina muscular. Aunque la taurina realiza una serie de funciones fisiológicas, esta disminución no repercute en su funcionalidad.

Además de lo comentado anteriormente con respecto a la L-histidina, con las dosis registradas actualmente en la literatura científica, se observa un cambio en las concentraciones de alanina aminotransferasa en sangre, aunque se encuentra dentro de los parámetros normales [93]. Se desconoce qué pasaría con esta variable bioquímica al aumentar las dosis de β -alanina o el tiempo de consumo.

Actualmente se sabe que el consumo de β -alanina es seguro en dosis de hasta 6,4 g [115,138] siendo uno de los compuestos que tienen una elevada evidencia de seguridad [84,169], aunque se desconoce dicha seguridad después de un consumo prolongado como por ejemplo un año de consumo [154,170] y un aumento de las dosis de ingesta.

1.3.6 Suplementación – Dosis

Los factores que más contribuyen a los cambios en el contenido de carnosina muscular parecen ser la dosis diaria proporcionada y la duración de la suplementación. Una suplementación con dosis suprafisiológica es uno de los métodos más eficaces para aumentar el carnosina muscular [92,140]. La estrategia de ingesta de β -alanina ha ido cambiando con el único fin de maximizar los efectos producidos por esta suplementación. Hasta el momento las dosis más eficientes son ingestas crónicas de entre 4,8 – 6,4 g/día, distribuidas entre 2 – 4 tomas al día y con un mínimo de consumo de dos semanas [91,156]. Las dosis más bajas suponen un aumento del 20 al 30% de las concentraciones de carnosina muscular [114] y las ingestas más elevadas y con una duración de 4 semanas, un aumento del 40-60% [134,171].

Se entiende que existe una relación lineal entre el consumo de β -alanina y el aumento de las concentraciones de carnosina a nivel muscular [159]. Las ingestas

más empleadas en la mayoría de los estudios son de 1,6 – 6,4 g de β -alanina diarios, lo que da lugar a aumentos significativos en el contenido de carnosina muscular después de varias semanas, pero ninguno de estos estudios garantizó que con dosis diarias más altas se podría disminuir el tiempo de suplementación requerido, y por ende, evitar el riesgo de desencadenar parestesias [94]. En la literatura científica, se ha optado por la división de las dosis en cantidades más pequeñas a lo largo del día, con el objetivo de evitar la aparición de las parestesias [93]. Las dosis más altas con las que no se determina sentir ningún tipo de sintomatología está en 800 mg, es por ello por lo que se ha intentado que al dividir las dosis se atenúe la probabilidad de producir estos síntomas [91,159]. Sin embargo, en la mayoría de los estudios actuales las dosis siguen siendo superiores a los 800 mg, por lo que no se consigue eliminar por completo las parestesias.

El consumo crónico de β -alanina durante 4 – 10 semanas es efectiva en la mejora de las concentraciones de carnosina, pero al determinar una ingesta crónica es necesario tener en cuenta un periodo de lavado o de mantenimiento, donde las dosis diarias sean menores o simplemente no haya suplementación [91,159]. La acumulación de un total de 179 g de β -alanina (promedio de los estudios) provoca una mejora del rendimiento deportivo promedio del 2,85% en comparación con un placebo [119]. El tiempo de lavado que se requiere para volver a los valores iniciales varía en función de si los sujetos son respondedores o no, pero oscila entre las 6 – 15 semanas [114,159]. Por lo que no se conoce el tiempo máximo que pueden mantenerse altos los niveles de carnosina muscular [154]. La ISSN determina que lo ideal es determinar dosis de 4 – 6 g/día, divididas en varias ingestas durante 4 semanas, como fase de carga y como fase de mantenimiento mantener una ingesta diaria de 1,2 – 1,6 g [154,172]. Estas dosis permiten mantener los niveles de carnosina muscular entre el 30 – 50% por encima de los valores normales, siempre que hayan tenido un periodo mínimo de 4 semanas de ingestas más altas [138,172]. De las ingestas que se realizan a lo largo del día, una de ellas se debe de realizar entre 30-40 min previos a la hora del entrenamiento.

Las fórmulas de liberación sostenida de β -alanina pueden reducir la parestesia, permitiendo una ingesta diaria considerablemente mayor mediante una respuesta farmacocinética modificada en la que el principio activo se libera a un ritmo constante, evitando los picos agudos de β -alanina en el torrente

sanguíneo, que se cree que es el principal agente responsable de la aparición e intensidad de la parestesia [93,173]. Esta nueva formulación ha permitido ampliar fronteras en la investigación y uso de la β -alanina. Hasta la fecha, la dosis diaria más alta que ofrece resultados empleó 12 g de ingesta de β -alanina de liberación sostenida al día durante 2 semanas [166], alcanzando incrementos de carnosina intramuscular equivalentes a los de 4 semanas con una dosis de 6 g [93], a la vez que se evitaba la parestesia [166], lo que apoya el argumento de que cantidades más altas de β -alanina son factibles para aumentar sustancialmente las cantidades de carnosina intramuscular en un periodo más corto sin efectos secundarios [166].

En línea a esto, Church y col [166] llevaron a cabo un estudio donde demostraron que la ingesta de 4 g de β -alanina de liberación sostenida no presentaron mayores parestesias a las experimentadas con dosis de 2 g de liberación rápida. Decombaz y col [173] determinaron la retención de β -alanina mediante la excreción urinaria de dos tipos de β -alanina, una de liberación sostenida y otra en solución acuosa. Al obtener los resultados determinaron que la ingesta de 1,6 g de β -alanina en tabletas de liberación lenta tenían una cinética de absorción más lenta y había una mayor retención de β -alanina en todo el cuerpo, lo que podría conducir a un aumento de las concentraciones de β -alanina. A pesar de que esta relación tiene gran peso, algunos estudios como el de Stegen y col [138] no mostraron diferencias significativas en los aumentos de carnosina muscular en los músculos sóleo y gastrocnemio tras el consumo de 4,8 g/día de dos tipos de β -alanina, una de liberación sostenida y otra en polvo, durante 5 semanas. Varanoske y col [129] si encontraron diferencias significativas en el aumento de las concentraciones de carnosina muscular al ingerir β -alanina de liberación sostenida de 6 g/día durante 28 días. Al evaluar a los sujetos que consumieron β -alanina de liberación rápida, en las mismas dosis y tiempo, se observó un aumento del $\sim 38\%$ de las concentraciones de carnosina, pero no fueron significativas. La diferencia del $\sim 16\%$ en las concentraciones de carnosina intramuscular entre las dos formulaciones no alcanzó para poder obtener significación estadística. La incapacidad de lograr diferencias estadísticamente significativas en las elevaciones de carnosina entre los participantes que consumen formulaciones de liberación rápida y liberación sostenida, también puede ser una función de la duración de la suplementación. El modelo de Spelnikov y Harris [116] determina que la diferencia absoluta en el aumento de la

carosina muscular depende de la duración de la suplementación (Figura 3). Por lo cual, aunque existe cierta evidencia que sugiere que la suplementación con β -alanina de liberación sostenida aumenta los niveles de carosina, es probable a que sea debido a que permite ingerir dosis más elevadas sin efectos secundarios.

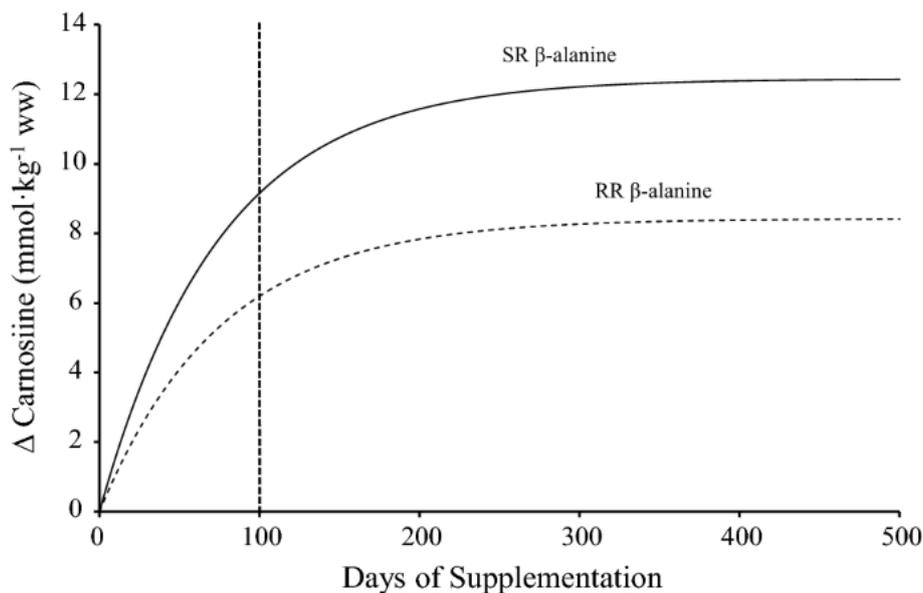


Figura 3. Proyección hacia adelante de cambios en las concentraciones de carosina intramuscular utilizando una formulación de liberación rápida (RR) en comparación con una formulación de liberación sostenida (SR) en diferentes duraciones de la suplementación de β -alanina basada en la cinética presentada por Spelnikov y Harris [116]. Extraída de Varanoske y col [129].

Después de los resultados obtenidos en el estudio de Stellingwerff y col [134] existe una evidencia que demuestra que dosis más elevadas y con un periodo de suplementación más larga, conduce a una mayor acumulación de carosina muscular. En este estudio se compararon dos dosis diferentes, 3,2 g/día y 1,6 g/día de β -alanina con un consumo de 4 semanas, y se observaron aumentos dos veces mayores en la carosina de las tibias anteriores y en el gastrocnemio con las dosis más elevadas. Posteriormente, se mantuvieron dosis de 1,6 g/día de β -alanina, en ambos grupos, durante 4 semanas más y se pudo observar que las concentraciones de carosina siguieron aumentando. Teniendo en cuenta esto, se entendía que existía una relación lineal entre el consumo de β -alanina y los

niveles de carnosina muscular [156]. Sin embargo, duplicar las dosis de suplementación de β -alanina puede duplicar el contenido de los niveles de carnosina muscular en las primeras semanas de consumo (hasta las 4 semanas) en la misma proporción [134,166], pero una dosis más alta durante un periodo más largo (por ejemplo, 6,4 g/día durante 24 semanas) acaba mostrando una disminución de la producción de carnosina [127].

En un estudio llevado a cabo con Spelnikov y Harris [174] propusieron un modelo matemático para describir la acumulación de carnosina muscular en relación a la síntesis y degradación de la misma. Este modelo estima que la tasa de síntesis de carnosina en el músculo esquelético es constante en el tiempo para cualquier dosis, pero lo que determina el cambio entre individuos es la tasa de descomposición de la misma [174], es decir, si los sujetos son respondedores o no respondedores. Por lo que el periodo de lavado o de mantenimiento varía entre semanas o meses, antes de volver a los valores iniciales previos a la suplementación [114,134]. Los cambios de los niveles de carnosina muscular podrían estar relacionados con la fuga transmembrana y la formación de aductos con grupos carbonilo, especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno [109]. Por lo que cualquier dosis de suplementación de β -alanina conllevará a una saturación de los niveles de carnosina muscular tras un tiempo de suplementación continua. Actualmente se desconoce las dosis que provocará dicha saturación absoluta de carnosina muscular, así como el tiempo que requiere llevar a cabo la suplementación con β -alanina, ya que las dosis y el tiempo de ingesta de los estudios realizados en humanos no se ha observado este fenómeno.

Recientemente, de Salazar y col [175] estudió una novedosa mezcla de β -alanina en polvo de liberación controlada, que representa un nuevo formato para proporcionar altas dosis agudas de β -alanina de liberación modificada, evitando la ingesta de varios comprimidos de liberación lenta, y que mostró una mayor biodisponibilidad. Estas nuevas fórmulas permiten aumentar los niveles de carnosina muscular en un tiempo inferior, con el simple hecho de aumentar las cantidades de ingesta [127,176]. Sin embargo, a pesar de la creciente evidencia que respalda el uso de la β -alanina para mejorar el rendimiento del ejercicio, la respuesta individual de la carnosina muscular a la suplementación es muy variable [127] y la cantidad de β -alanina ingerida convertida en carnosina muscular puede ser baja [91,137,138].

1.3.7 Influencias dietéticas

Para que los suplementos dietéticos tengan una mayor eficacia se debe de conocer el momento del día en el que deben de ser ingeridos, y el tiempo necesario para que provoquen un efecto beneficioso sobre el rendimiento [177,178]. En el caso de la β -alanina al ser ingerida en varias dosis para poder aumentar la cantidad de consumo, aún se desconoce si debe de ser ingerida con las comidas o antes del entrenamiento, así como si los momentos de consumo pueden influir en los niveles posteriores de carnosina muscular.

Teniendo en cuenta lo que ocurre con la ingesta de otro tipo de suplementos como la creatina, se podría entender que la presencia de insulina podría influir en que haya un mayor aporte de β -alanina en el interior del músculo. El transportador TauT depende del gradiente de Na^+ (bomba Na^+/K^+ ATPasa), y obtiene la energía del co-transporte del Na^+ y Cl^- para poder introducir la β -alanina al interior muscular [179]. En el caso de la creatina, un aumento de los hidratos de carbono de alto índice glucémico incrementa la acción de la bomba Na^+/K^+ ATPasa y por ende aumenta la entrada de la creatina en el miocito [180,181]. Sin embargo, algunos estudios han analizado la influencia de la alimentación con la ingesta de β -alanina y se han obtenido resultados contradictorios. Algunos estudios determinan que podría aumentar la entrada de β -alanina en las fibras de tipo oxidativo (tipo I) y menos en las fibras rápidas (tipo II), ya que las fibras tipo I son más sensibles a la insulina [103,138]. En cambio, otros estudios han determinado que no existen mejoras que se puedan asociar a este fenómeno [182,183]. Por lo que se ha sugerido que la ingesta de β -alanina se debería de realizar con carbohidratos [138], ya que la liberación de insulina regula al alza la actividad y el contenido del sarcolema de la bomba Na^+/K^+ ATPasa [184,185], provocando un posible aumento de la captación de β -alanina. Esta teoría ha ido cogiendo fuerza debido a que la captación de creatina por el músculo, dependiente del Na^+ , aumenta cuando la suplementación se realiza con carbohidratos de alto índice glucémico [180,181].

Sin embargo, solamente hay un estudio que determine la influencia de la insulina en el aumento de la carnosina muscular después de la suplementación con β -alanina. Este estudio, llevado a cabo por Stegen y col [138], estaba dividido en dos partes. La primera con una ingesta aguda de β -alanina en ayunas y con

dos barras de carbohidratos, donde no se encontraron diferencias entre ambos grupos. La segunda parte, con una ingesta crónica, donde los sujetos ingirieron 3,2 g/día de β -alanina con una duración de 6-7 semanas, junto con la comida o entre comidas. Los resultados demostraron que los sujetos que se suplementaron junto con la comida aumentaron las concentraciones de carnosina muscular en el sóleo, pero no en el gastrocnemio. Las razones de que haya ocurrido esto puede ser porque existe una mayor sensibilidad a la insulina en el sóleo [186] y además, por una translocación preferencial inducida por la insulina de las subunidades de la bomba Na^+/K^+ ATPasa en las fibras oxidativas (sóleo) sobre las fibras glucolíticas (gastrocnemio).

Por lo que la insulina, actualmente, no es determinante para la entrada de β -alanina al interior del músculo.

1.3.8 Formación y degradación de carnosina

Con relación a los periodos de carga y mantenimiento, aún se desconoce cuánto tiempo es necesario para recuperar los niveles de carnosina muscular previos al comienzo de la ingesta, pero todo indica que parece seguir una cinética dependiente de la carnosina muscular sintetizada tras el consumo. Spelnikov y Harris [116] reflejan que la síntesis mediante la carnosina sintasa con la β -alanina de liberación sostenida tiene una velocidad de reacción constante en el tiempo y que depende de la cantidad de ingesta que se realice. Sin embargo, se entiende que al final hay un estado de saturación de formación de carnosina y este no es proporcional a la cantidad de β -alanina que se ingiere. En el estudio llevado a cabo por Church y col [166] donde comparan dos ingestas de β -alanina, 12 g/día de β -alanina de liberación sostenida durante 2 semanas y 6 g/día durante 4 semanas, se estima que si se hubiese prolongado en el tiempo se hubiera llegado a un equilibrio de síntesis y degradación de carnosina, terminando con niveles superiores en el grupo con la dosis más elevada, pero no llegando a ser el doble con respecto a la dosis de 6 g/día. Es por ello por lo que aumentar las dosis de β -alanina se realiza con el único fin de conseguir incrementar las concentraciones de carnosina muscular en un menor tiempo. Cabe destacar que actualmente hay muy poca literatura científica al respecto, y en ella no se observa la fase de estancamiento de síntesis de carnosina. Esto puede ser debido a los protocolos tan

reducidos de ingesta que se han llevado a cabo con esta suplementación. El estudio con más tiempo de consumo llevado a cabo por Saunders y col [127] consistió en el consumo de 6,4 g/día durante 24 semanas y se comenzó a observar el principio de saturación. Durante las primeras 4 semanas de ingesta se observó un mayor incremento de las concentraciones de carnosina con respecto a las iniciales. A pesar de que se observó un incremento durante las 24 semanas, la acumulación disminuía a medida que pasaban las semanas. En este mismo estudio solo se observó una reducción de la síntesis del transportador TauT a partir de las primeras 4 semanas de consumo, argumentando que se debió a la necesidad de mantener la homeostasis intracelular de la carnosina.

El aumento de las concentraciones de carnosina muscular es más pronunciada durante las primeras semanas de suplementación, después de las 4 primeras semanas estos aumentos disminuyen [92,127]. Sin embargo, los niveles de carnosina intramuscular siguen en aumento siempre que se mantenga la suplementación, por lo que el contenido de carnosina será mayor con una suplementación de 24 semanas frente a una suplementación de 8 semanas de duración [127].

Con respecto a la degradación de los niveles conseguidos de carnosina mediante la ingesta de β -alanina, se pueden detallar diferentes estudios que determinan que se desconoce realmente las razones que provocan dicha degradación y la velocidad de esta. Baguet y col [114] con una suplementación de β -alanina de 4,8 g/día durante 6 semanas, determinaron que tras las tres semanas de finalización de la ingesta las concentraciones de carnosina habían disminuido en un 31,8% y a las 9 semanas de media fue cuando alcanzaron los niveles de carnosina iniciales, tal y como se observó también en el estudio de Harris y col [171]. Cabe destacar, que en este estudio se diferenciaron entre los respondedores y los no respondedores, en relación al diferente ritmo de recuperación en los niveles de carnosina, siendo 15 y 6 semanas respectivamente [114].

En esta misma línea, Stellingwerff y col [134] llevaron a cabo un estudio con personas desentrenadas, donde se les dio una suplementación de 1,6 o 3,2 g/día de β -alanina durante 8 semanas. En estos sujetos el aumento de las concentraciones de carnosina muscular fue del 30 – 45% y el tiempo de recuperación de los niveles iniciales fue de 15-20 semanas, lo que supuso un ritmo de degradación mucho más lento a lo observado en los estudios anteriores.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se podría establecer dos aspectos a tener en cuenta: 1) cantidades más elevadas de β -alanina pueden provocar un aumento de las concentraciones de carnosina muscular, sobre todo en las primeras 4 semanas de ingesta; 2) existe un equilibrio entre la síntesis y la degradación de carnosina que está condicionada por diferentes factores, siendo uno de ellos la regulación de los transportadores de TauT, también observado a las 4 semanas de suplementación. Sin embargo, no se tienen datos con dosis más elevadas a los 12 g/día de suplementación de β -alanina de liberación sostenida y también se desconoce las razones de síntesis y degradación de carnosina tan irregular.

1.3.9 Mejoras de la carnosina en la tolerancia al ejercicio

El incremento de carnosina mejora el rendimiento en ejercicios de alta intensidad en los que el aumento de la acidez muscular (disminución del pH muscular por un aumento del H^+ intramuscular) perjudica las contracciones musculares al amortiguar estos protones, prolongando el tiempo de aparición de la fatiga de los entrenamientos que duran entre 30 segundos y 10 min [141]. Además, la carnosina puede aumentar la sensibilidad del calcio en las miofibrillas musculares y parece funcionar como una especie de bomba local de intercambio H^+/Ca^{2+} para los microdominios generados en el sarcolema [140,187].

Algunos estudios determinan que el aumento de las concentraciones de carnosina muscular son debidas a una adaptación al entrenamiento de alta intensidad a largo plazo, ya que los deportistas con mayores niveles de carnosina son los culturistas [188] y los velocistas entrenados [148]. Las razones de que esto sea así se desconocen, ya que puede ser por una predisposición genética, una respuesta adaptativa al entrenamiento o el tipo de fibras musculares implicadas. Con respecto a este último factor, los deportistas entrenados a altas intensidades muestran mayor número de fibras tipo II, siendo estas las que mayor afinidad tienen con la carnosina muscular, es decir, las fibras glucolíticas tipo II en comparación con las fibras oxidativas tipo I [122,128].

Sin embargo, también puede estar influenciado por un aumento de consumo de β -alanina en la dieta o al uso continuado de esteroides, ya que el efecto anabólico de los andrógenos contribuye también el metabolismo de la

carnosina muscular [101]. A pesar de que el verdadero motivo aún se desconoce, el entrenamiento crónico suele ser el factor más determinante [97].

Un estudio llevado a cabo por Painelli y col [153] demostró que un protocolo de entrenamiento en intervalos de alta intensidad (HIIT) durante 12 semanas, en personas vegetarianas, aumentó los niveles de carnosina muscular sin suplementación de β -alanina. Esto podría indicar que se produjo un aumento de la producción endógena de β -alanina, aunque es una hipótesis de los autores ya que no lo midieron en su estudio. Este aumento del metabolismo de la carnosina muscular no provocó cambios en la expresión de los genes involucrados en dicho metabolismo, pero puede ser que estuviera condicionado por el momento en el que se realizaron las mediciones en comparación con las sesiones de entrenamiento.

Aunque existen evidencias de que el ejercicio de alta intensidad influye en la homeostasis de la carnosina muscular [153], no existen estudios que demuestren que hay cambios significativos al realizar la suplementación de β -alanina junto con un programa de entrenamiento [122,133,189,190]. Estas evidencias se demuestran en el estudio realizado por Bex y col [123] llevado a cabo con deportistas de diferentes disciplinas, donde se les administró dosis de 6,4 g/día de β -alanina durante 23 días. En este estudio se pudo observar mayores ganancias de carnosina en los músculos entrenados que en los no entrenados. Los kayakistas tuvieron mayores ganancias en el deltoides en comparación con el sóleo y el gastrocnemio, encontrando todo lo contrario al evaluar a los ciclistas. Sin embargo, en los nadadores, donde requieren entrenamiento en ambas extremidades, se observaron aumentos significativamente más altos de carnosina muscular tanto en el deltoides como en el sóleo. Estos resultados determinan que el entrenamiento es un factor clave en el metabolismo de la carnosina muscular, aunque la falta de mediciones de genes o proteínas dificulta la interpretación mecanicista de estos hallazgos. Los autores sugieren que un mayor aporte de β -alanina a las células musculares en funcionamiento o una posible estimulación inducida por la contracción de los transportadores de β -alanina pueden contribuir a esta mejora. Sin embargo, se desconoce si es el efecto agudo o el efecto crónico del entrenamiento son los reguladores del contenido de carnosina, por lo que aún no se conoce si existe alguna relevancia fisiológica para suplementar β -alanina en algún momento específico del entrenamiento o competición. Cabe indicar que se

ha comprobado que la suplementación con β -alanina permite aumentar las cargas de entrenamiento cuando se realizan esfuerzos de alta intensidad, por lo que, se puede sugerir que dicha suplementación tendría un efecto positivo en aquellos periodos de la temporada en los que se persiga aumentar la carga de entrenamiento [102].

La carnosina muscular tiene diversas funciones fisiológicas, que contribuyen a las mejoras del rendimiento deportivo, y para todas ellas requiere de la unión de la β -alanina y la L-histidina. Sin embargo, una de las funciones más destacadas es la de mantener el equilibrio ácido – base, aumentando la actividad de los iones metálicos, con el fin de extraer los metales tóxicos del cuerpo y, además, neutralizar los radicales libres (ROS) del interior del miocito [191]. En el momento en el que se realiza un ejercicio de elevada intensidad, la glucólisis anaeróbica provoca un desequilibrio muscular, produciendo un aumento del ácido láctico que provoca posteriormente un aumento de H^+ . Este aumento de H^+ desencadena una disminución del pH, dando lugar a la activación de la función tamponadora.

El músculo esquelético, es el encargado de transformar la energía química en energía mecánica, produciendo las moléculas de ATP. En el momento en el que se comienza a realizar ejercicio físico se comienza a requerir de dicha energía para mantener el movimiento, sin embargo, el músculo no es capaz de almacenar ATP en su interior (dispone solamente de 5-6 mmol por peso seco) [192,193]. Para realizar cualquier movimiento requiere de dicha energía por lo que se hace necesario que se almacene en forma de energía química, como puede ser a través de azúcares, grasas y proteínas, que serán catabolizadas en el momento en el que se necesite ATP para realizar alguna actividad muscular.

Cuando los ejercicios son de baja intensidad, se prioriza la fosforilación oxidativa, catabolizando la glucosa y los ácidos grasos. Esto provoca una disminución de las demandas energéticas por unidad de tiempo y por tanto una mayor rentabilidad de ATP, permitiendo prolongar el ejercicio en el tiempo generando pocos residuos, los cuales pueden ser eliminados sin provocar ningún tipo de daño muscular. En el momento en el que se realiza ejercicio de alta intensidad, la glucólisis anaeróbica se convierte en el metabolismo predominante por el cual se obtiene energía. La razón de que esto sea así es que los requerimientos de ATP no pueden llevarse a cabo íntegramente mediante las vías

oxidativas, y por tanto el músculo no es capaz de solventar las demandas de energía requeridas para mantener el ejercicio. El metabolismo se ve obligado a obtener ATP por la vía láctica, es decir, por conversión del piruvato en lactato [193,194]. Aunque se obtiene energía mucho más rápido, es menos rentable que el metabolismo oxidativo (2 mol de ATP por mol de glucosa, frente a 36 moles de ATP en la fosforilación oxidativa [195]). Esta forma de obtención de energía produce un aumento de H^+ , producidos de la disociación del ácido láctico en lactato, generando un descenso de la capacidad amortiguadora intracelular y con ello, un descenso del pH muscular [196,197]. Este pH muscular más bajo aparece después de aproximadamente 4 min de ejercicio de alta intensidad [198], aunque se desconoce si es este desequilibrio metabólico es el causante de la fatiga durante esfuerzos máximos de corta duración (<30 s). Sin embargo, sí se conoce que esta acidosis interviene en los procesos metabólicos, interrumpiendo la resíntesis de fosfocreatina [199], inhibiendo la glucólisis [200] e interrumpiendo el funcionamiento contráctil del músculo [201–203]. Todo esto da lugar a una disminución de la fuerza y la potencia debido a la aparición de la fatiga neuromuscular, reduciendo el tiempo que el músculo es capaz de mantener el ejercicio a esa intensidad. Cabe destacar que el tiempo de duración de la actividad dependerá de la tolerancia del individuo a los H^+ , y esto estará condicionado con el estado de entrenamiento.

La razón por la que la acumulación de H^+ afecta al funcionamiento contráctil del músculo, es debido a que éstos obstaculizan y saturan los sitios de unión del calcio (Ca^{2+}) en las miofibrillas. Para poder llevar a cabo un ciclo de movimiento entre las fibras de actina y miosina se hace necesario la intervención del Ca^{2+} , el cual interviene en la transmisión del impulso nervioso que provoca el estímulo que necesitan los músculos para realizar el movimiento (Figura 4). Además, interviene en la excitabilidad neuromuscular, por lo que se requiere para que el funcionamiento contracción – relajación muscular se haga correctamente [204].

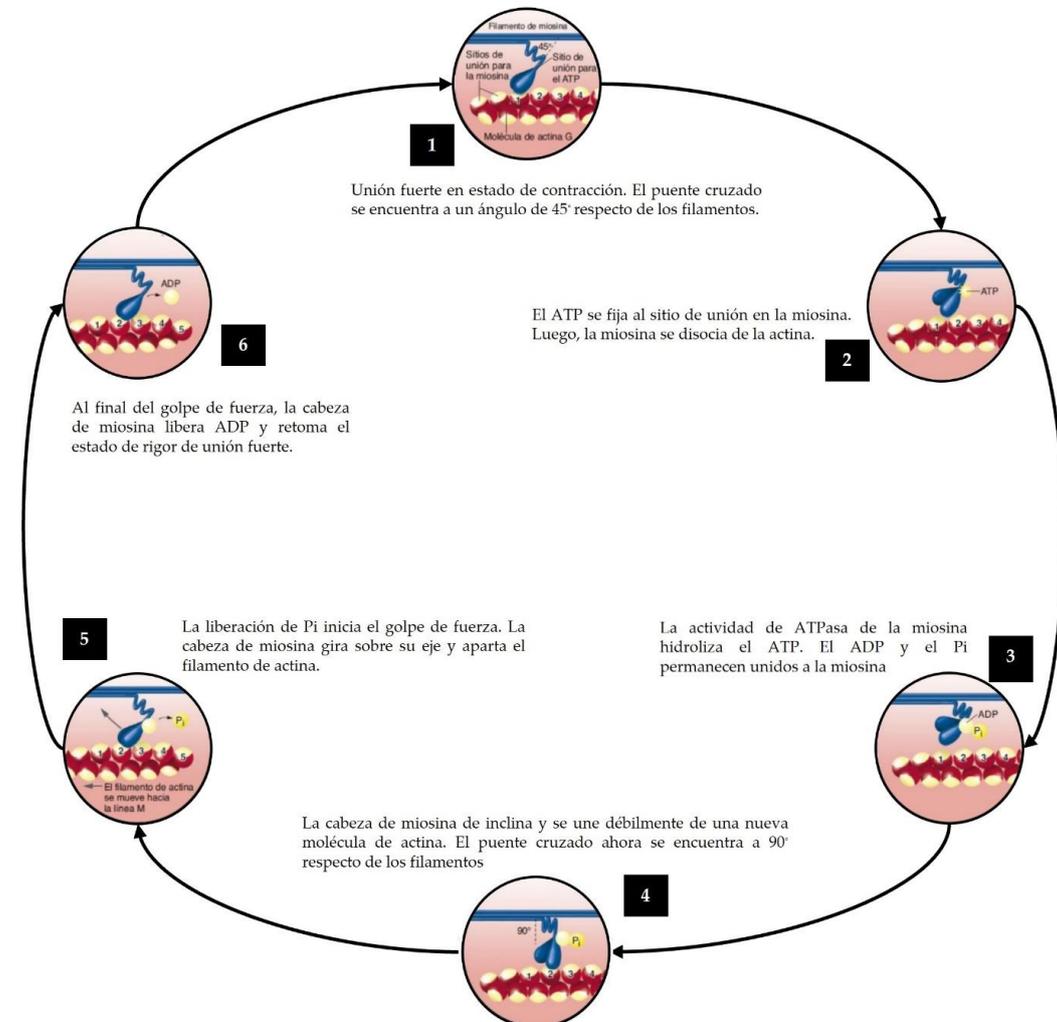


Figura 4. Teoría del filamento deslizante (Keney, Wilmore y Costill, 2012). Ciclo de movimiento muscular. Cada unidad funcional del músculo, llamada sarcómero, dispone de cadenas proteicas compuestas por actina, miosina y otras proteínas asociadas que permiten el movimiento mediante el proceso conocido como el ciclo de puentes cruzados. La miosina dispone de actividad ATPasa en la cabeza, para la que existen sitios de unión a lo largo de la cadena de actina. No obstante, dichos lugares están protegidos por la tropomiosina, que a su vez se inmoviliza por acción de las tropomiosinas C, T e I. En presencia de ATP, la cabeza de miosina la une y se mantiene separada de la cadena de actina. Cuando la miosina hidroliza el ATP en ADP y Pi, se energiza, se orienta hacia los lugares de unión de la actina y la une de manera débil mediante fuerzas iónicas. En el momento que el músculo recibe la señal neuronal motora, libera Ca^{2+} al medio del retículo sarcoplásmico y se une a la troponina C. Esto provoca una modificación en la

interacción entre las troponinas y alivian la unión de la tropomiosina con la actina, liberando así los sitios de unión para la miosina. En esta configuración la actina y miosina se unen con mayor fuerza, mediante interacciones hidrofóbica. Por último, la miosina se deshace del ADP y Pi y desliza la cadena de actina permitiendo la contracción muscular. Finalmente, una nueva molécula de ATP se une a la cabeza de miosina, que pierde afinidad por el sitio de unión a la actina y se separa para poder dar comienzo a un nuevo ciclo de movimiento (A). El aumento de los H^+ disminuyen la sensibilidad al Ca^{2+} , ya que se reduce la afinidad de este a los sitios de unión de la troponina C y de la troponina I, disminuyendo por tanto el ritmo de liberación y captación del Ca^{2+} al retículo sarcoplasmático [205–207]. Figura adaptada de England y col [208].

Algunos estudios han concluido que una concentración de carnosina muscular elevada podría amortiguar entre el 8-15% de H^+ , abriendo la posibilidad de maximizar el esfuerzo físico durante un período de tiempo más largo [77]. Por otro lado, otros estudios han demostrado que la suplementación con carnosina y L-histidina no aumenta la biodisponibilidad de la carnosina intramuscular [203,209]. Por esta razón, y considerando la β -alanina como un precursor en la formación de carnosina, varios estudios han mostrado un aumento entre el 40-80% de la carnosina intramuscular después de la suplementación con β -alanina [77,115,154,172,210].

En relación con la estabilización del pH, hay varios estudios que han utilizado ayudas ergogénicas para mejorar el rendimiento físico en las zonas de transición aeróbica-anaeróbica [96,211]. La zona de transición aeróbica-anaeróbica corresponde a un rango de intensidad entre el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico [212] y puede servir como base para evaluar el rendimiento de resistencia individualmente, así como para prescribir intensidades en el entrenamiento de resistencia [213]. En este sentido, la β -alanina se encuentra entre las ayudas ergogénicas utilizadas para aumentar el rendimiento en las zonas de transición aeróbico-anaeróbico [154,211,214]. Un estudio evaluó el efecto de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento físico, mostrando una mejora del 13,9% en el umbral ventilatorio [215]. Además, otro estudio informó que la suplementación con β -alanina durante 28 días mejoró el rendimiento de resistencia submáximo al retrasar el inicio de la acumulación de lactato en sangre (OBLA) [211]. Sin embargo, otras investigaciones no han encontrado resultados significativos en el rendimiento deportivo [197], específicamente en remeros [216] y ciclistas entrenados [217] con suplementos de β -alanina.

Para conocer las actividades deportivas que más se benefician con esta suplementación, se debe tener en cuenta los beneficios fisiológicos que provoca, siendo la principal, el efecto sobre la acidosis intramuscular debido a una glucólisis anaeróbica [168], siendo esta la principal causa periférica de fatiga muscular durante esfuerzos de alta intensidad [218]. Estas alteraciones tienen efecto directo sobre la fuerza, la velocidad y la potencia de los puentes cruzados. Esto fue reflejado por Fabiato y Fabiato [202] que determinaron que las fibras musculares aisladas (cardíaca y esqueléticas), cuando reducen su pH intramuscular, también reducen la tensión muscular en un 30%. Metzger y Moss [219] también determinaron una reducción significativa en la fuerza (30-40%) en las fibras musculares aisladas cuando el pH se redujo 6,2 puntos. En estudios realizados con humanos durante esfuerzos de alta intensidad [220,221], existe una fuerte evidencia de que la acumulación de iones H^+ puede actuar como una causa relevante del proceso de fatiga muscular, encontrando una correlación entre la disminución del rendimiento en un sprint repetido y el cambio de pH [221] y la disminución del trabajo con un aumento de H^+ [220].

El desequilibrio metabólico al que se ve sometido el cuerpo humano por el ejercicio intenso disminuye la actividad de diferentes tipos de enzimas, siendo una de ellas la fosforilasa, clave en la función de la glucólisis [222]. Este desequilibrio genera una disminución en las capacidades físicas de la fuerza, la velocidad y la potencia [193].

Cada célula dispone de sistemas tamponadores en su interior, que es el primer mecanismo de actuación cuando se comienzan a elevar los niveles de H^+ . Cuando se realiza ejercicio de alta intensidad, donde el músculo comienza a acumular grandes cantidades de H^+ en su interior es necesario la eliminación al medio extracelular, para que la célula muscular siga siendo efectiva. El principal neutralizador de estos H^+ en el torrente sanguíneo es el bicarbonato sódico (HCO_3^-), que genera grandes cantidades de CO_2 y es lo que provoca un incremento de la ventilación para poder compensarlo. La forma en la que son transportados los H^+ al vaso sanguíneo es a través del Na^+ o del lactato.

Existen evidencias que determinan que la acumulación de H^+ en el torrente sanguíneo contribuyen a tener una percepción del esfuerzo de alta intensidad, ya que contribuyen a la fatiga del individuo [223]. Esta acumulación extracelular de H^+ se encuentra unida al lactato. Sin embargo, este lactato circulante solo

contribuye en un 5% a la aparición de fatiga [224]. A pesar de ello, es un indicador muy fácil de medir durante el ejercicio físico y representa el nivel de acidez y fatiga muscular del individuo.

En relación a los tamponadores intracelulares, podemos encontrar también el HCO_3^- , así como aminoácidos y proteínas. Uno de estos amortiguadores fisicoquímicos que se encuentran en el interior del músculo es la carnosina. Este dipéptido proporciona la primera línea de defensa contra los cambios que se producen en el músculo en relación a los niveles de pH, siendo considerada uno de los dipéptidos con mayor capacidad tamponadora de H^+ a nivel intramuscular. Además, el aumento de estas concentraciones determina una mayor sensibilidad del músculo al Ca^{2+} lo que no solamente contribuye a un buen funcionamiento del ciclo del movimiento sino que además, funciona como una bomba de intercambio de $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$ por microdominios generados en el propio sarcolema [187].

Dado que es probable que la acidosis muscular contribuya a la aparición de la fatiga durante el ejercicio de alta intensidad, el aumento de la concentración de carnosina muscular aumentaría teóricamente la capacidad de amortiguación intracelular, retrasando así potencialmente la aparición de la fatiga [99]. Esto proporciona la justificación del papel ergogénico de la suplementación con β -alanina en el ejercicio que induce la formación de H^+ y la acidosis muscular [114,120,130] (Figura 5).

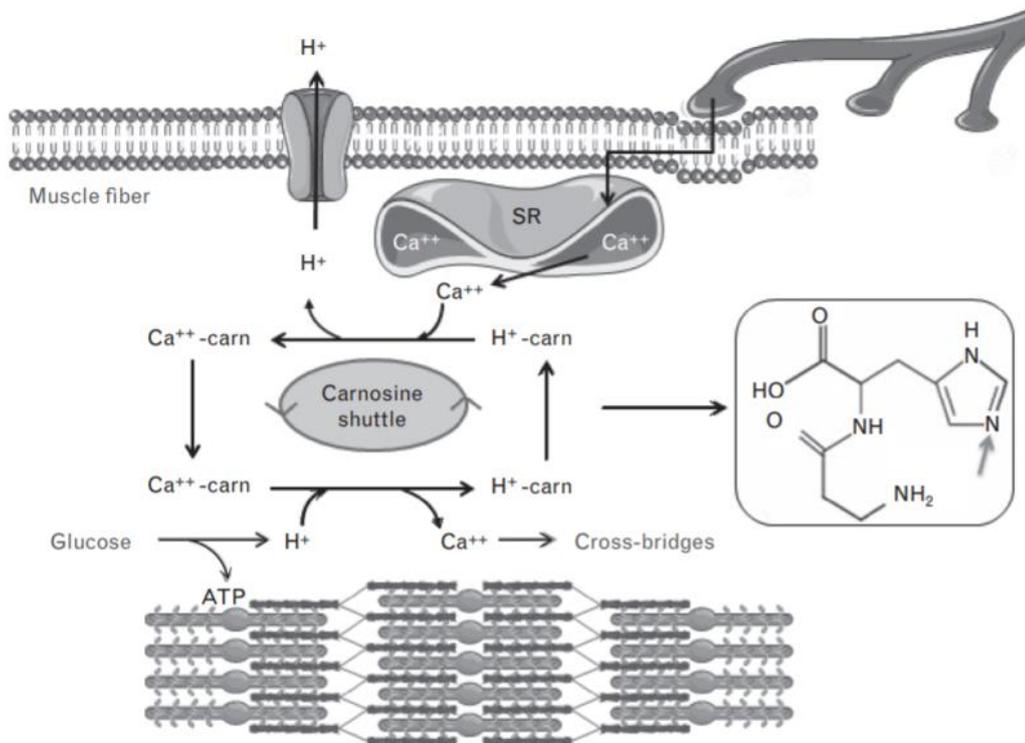


Figura 5. Hipótesis actual sobre el mecanismo ergogénico de la carnosina en el músculo esquelético, basada en los hallazgos de Swietach y col [225] en los miocitos cardíacos. La carnosina puede actuar como lanzadera, transportando tanto H^+ como Ca^{2+} entre la región del sarcómero y del sarcolema T-tubular. Esto mejoraría la entrega de Ca^{2+} y la eliminación de protones en el sitio del sarcómero. En la figura se muestra la estructura molecular de la carnosina con indicación (flecha) del sitio de unión competitiva de H^+ y Ca^{2+} . SR: retículo sarcoplásmico. Figura sacada de Blancquaert y col [226].

1.3.10 Suplementación de histidina con β -alanina

La formación de carnosina muscular depende la disponibilidad de los aminoácidos que la constituyen, la β -alanina y la L-histidina [109]. Algunos estudios han evaluado si, una disminución de las concentraciones de histidina muscular, podrían repercutir en la formación de síntesis de carnosina. Un estudio llevado a cabo por Blancquaert y col [92] determinaron que si hubo una reducción significativa del contenido de histidina muscular tras 23 semanas de consumo de β -alanina. Es por ello por lo que estos autores especularon que esta disponibilidad reducida de histidina muscular es la razón de una menor eficiencia en la

producción de carnosina cuando se prolonga en el tiempo [92,127]. La co-suplementación con ambos aminoácidos evitaría las reservas de histidina muscular, no afectando por tanto a los niveles de carnosina intramuscular. Estos hallazgos fueron corroborados por Harris y col [99] donde no se observaron cambios en comparación con la suplementación con solo β -alanina [105,129,166]. Actualmente, la evidencia científica determina que la depleción de histidina no es un factor limitante de la síntesis de carnosina muscular, por lo que la suplementación de ambos aminoácidos no supondría un aumento de los niveles de concentración de carnosina, pero habría que determinar si ocurre lo mismo con el aumento de las dosis de β -alanina y con una duración prolongada en el tiempo.

En línea con lo citado anteriormente, un estudio llevado a cabo con estadounidenses y belgas observaron diferencias en las concentraciones de carnosina muscular, aun realizando las mismas pautas de ingesta. Esto puede estar relacionado con la ingesta de proteínas que realizan en la dieta habitual, siendo mayor en los belgas [105]. Esto determina que se hace necesario controlar el consumo de proteínas llevadas a cabo en la dieta de los sujetos con suplementación de β -alanina.

1.3.11 Efectos de la suplementación con β -alanina

El consumo de β -alanina ha demostrado beneficios de rendimiento en ejercicios de alta intensidad durante un período corto de tiempo, en actividades repetidas e intermitentes [98]. Existen evidencias contradictorias sobre los beneficios que se pueden encontrar con la suplementación de β -alanina, pero la mayoría de los estudios determinan que los efectos en el rendimiento dependen de las dosis de ingesta [119,141].

En ejercicios de alta intensidad

La mayoría de los estudios con suplementación con β -alanina están enfocados a ejercicios de alta intensidad, especialmente ejercicios que evalúan la capacidad para realizar esfuerzos continuos a una intensidad submáxima. Existen muchos estudios que determinan este tipo de hallazgos, encontrando mejoras en el tiempo hasta el agotamiento en pruebas al 110% de la potencia máxima después de 4 semanas de suplementación [121,227] y hasta en

intensidades del 120% del máximo [228–230]. En relación a los ejercicios interválicos es más probable un efecto ergogénico cuando el ejercicio se realiza durante al menos 30 segundos y 3 min de descanso frente a entrenamientos interválicos con una duración de inferior a los 10 segundos y con 1 min de descanso [102]. La ISSN tras su revisión de la literatura en relación a la suplementación con β -alanina, determinó que pueden mejorar el rendimiento del ejercicio de alta intensidad que dura más de 60 segundos, sobre todo en las tareas donde se llega al agotamiento, y disminuir los niveles de fatiga neuromuscular [154]. Por el contrario, estos beneficios no se observan cuando los ejercicios duran más de 4 min, es decir, momento en el que las vías metabólicas aeróbicas son las que satisfacen las demandas de energía.

En esta misma línea, en una revisión bibliográfica y meta-análisis se concluye que la suplementación con β -alanina tiene un efecto estadísticamente positivo sobre el rendimiento en ejercicios con duración de entre 30 segundos y 10 min de duración [141]. Estos resultados se ven respaldados por la American College of Sports Medicine (ACSM) que determina que la β -alanina puede mejorar la capacidad del entrenamiento y el rendimiento en ejercicios donde se altera el equilibrio ácido – base ocasionado por un aumento de la glucólisis anaeróbica que se produce en los ejercicios de alta intensidad con una duración de entre 60 y 240 segundos [86,119]. Dos meta – análisis han demostrado que el factor principal para lograr la efectividad sobre el rendimiento físico es la duración del esfuerzo de alta intensidad [119,141]. Hobson y col [119] también determinaron que existen mejoras con ejercicios de más de 240 segundos pero no en el mismo grado, y tampoco determinan el porqué de la mejora con esta suplementación, aunque todo apunta a que sea debido a que la β -alanina retrasa el aumento de la tasa de ventilación inducido por el metabolismo anaeróbico [231]. De todos los estudios revisados en este meta – análisis se determinó que el consumo de β -alanina no mejora el rendimiento deportivo, sino la capacidad de ejercicio, es decir, la máxima cantidad que un sujeto puede mantener un determinado ejercicio (por ejemplo, pruebas maximales).

Cuatro años después, Saunders y col [141] llevaron a cabo otro meta – análisis donde corroboraron que la suplementación de β -alanina con ejercicios con una duración inferior a 30 segundos no tenían beneficios. Sin embargo, ampliaron el rango de efecto de dicha suplementación, encontrando estudios con

mejoras significativas entre los 30 segundos y los 10 min de duración. Además, después de estos 10 min se encontraban algunas mejoras, pero no significativas. Aunque ya se comienzan a observar estudios con mejoras en el rendimiento deportivo, siguen determinando mayores beneficios en la capacidad del ejercicio. Otro punto importante a considerar es que los individuos desentrenados parecen presentar mayores ganancias en el rendimiento en comparación con los atletas [141].

Aunque la mayoría de los estudios han investigado la influencia de la suplementación con β -alanina en el ejercicio de alta intensidad, algunos estudios también han investigado la influencia de esta ayuda ergogénica en los parámetros aeróbicos determinados en las pruebas incrementales y el ejercicio de fuerza, que requiere una gran participación neuromuscular.

En una prueba incremental

El efecto de la β -alanina sobre parámetros aeróbicos y de rendimiento determinados en una prueba incremental, como el VO_2 y $VO_{2m\acute{a}x}$, es todavía muy discutible. La idea que se tiene del efecto de la suplementación con este aminoácido determina que el cambio en el umbral ventilatorio y el umbral de lactato son los más susceptibles a los efectos ergogénicos en este tipo de pruebas [102].

Existen estudios en los que no se observan cambios a nivel aeróbico en pruebas llevadas a cabo en un cicloergómetro después de la suplementación con β -alanina, ya que no tienen influencia en la capacidad amortiguadora [133,190,228,232]. Sólo Ghiasvand et al. [233] y Smith et al. [232] han encontrado alguna mejora en el $VO_{2m\acute{a}x}$.

Al evaluar los parámetros de rendimiento en este tipo de pruebas, se va a producir una mejora, ya que son pruebas en las que el componente anaeróbico es el que determina el final de las mismas [231,233,234].

En ejercicios de fuerza

Cabe esperar que los ejercicios de fuerza que no provoquen un aumento de la acidosis muscular no van a obtener beneficios con la suplementación de β -alanina, como puede ser en los ejercicios de fuerza máxima. Sin embargo, si se ha observado un efecto ergogénico sobre el volumen de entrenamiento de la fuerza

[235,236]. En el estudio llevado a cabo por Hoffman y col [236], donde los sujetos consumieron 4,8 g/día de β -alanina durante 30 días, no mejoraron en la prueba de 1 repetición máxima (1RM) de sentadilla. Sin embargo, si encontraron mejoras significativas en el volumen de entrenamiento y en el número de repeticiones realizadas en los entrenamientos, esto puede ser debido a lo encontrado en los meta – análisis anteriormente comentados, donde existe una mejora de la calidad antes que en el rendimiento deportivo [119,141]. En otro estudio, realizado por Maté-Muñoz y col [237] si determinaron obtener mejoras significativas en la prueba de 1RM, tanto en kilos como en potencia media, después de 5 semanas de suplementación con β -alanina. Estos autores determinan que esta mejora fue debida a la mejora en el rendimiento del entrenamiento, por lo que sería una mejora indirecta de la suplementación. En los ejercicios de fuerza isométrica existe una mayor prevalencia del metabolismo glucolítico, por lo que la suplementación en este tipo de pruebas si muestra mayores beneficios [238]. Algunos autores han encontrado mejoras significativas en las pruebas realizadas al 45% de la contracción isométrica después de 4 semanas de suplementación y una atenuación de la disminución del torque máximo durante las contracciones isométricas después de un protocolo de fatiga muscular [105].

En pruebas deportivas específicas y eventos simulados

Debido a la función que tiene la β -alanina como elemento primordial de la síntesis de la carnosina (un contribuyente importante en la amortiguación de H^+ durante el ejercicio de alta intensidad), la β -alanina se está convirtiendo rápidamente en una ayuda ergogénica popular para el rendimiento deportivo [119], siendo consumida por aproximadamente un 61% de los atletas de deportes de equipo [239]. Todos los beneficios comentados anteriormente es lo que ha permitido que esta ayuda ergogénica tenga gran interés en la comunidad deportiva [91]. Existen diversos estudios que han determinado los efectos de la suplementación de β -alanina en las diferentes modalidades deportivas, siendo el ciclismo una de las modalidades que contiene mayor número de estudios al respecto (ver apartado 1.4).

Otro de los deportes con mayores evidencias científicas es el remo, sobre todo en las carreras de 2.000 m, debido a su gran componente anaeróbico [240]. Estudios llevados a cabo en esta modalidad determinaron encontrar mejoras en el

rendimiento [130,227,241]. Estas mejoras fueron de ~ 5 segundos en comparación con los grupos placebos, pero a pesar de no encontrar diferencias significativas se encuentra una tendencia hacia la misma $p=0,07$ [130] y $p=0,055$ [241].

En la modalidad de la natación, en las pruebas de distancia corta de 100 m y 200 m, donde el metabolismo anaeróbico es determinante, está aumentando la evidencia del uso de esta suplementación. Painelli y col [242] llevaron a cabo un estudio con una suplementación de β -alanina de 5 y 4 semanas, encontrando mejoras del 1,4 – 2,1% en el rendimiento de ambas pruebas. Es posible que esta ayuda ergogénica aumente entre los nadadores ya que no promueve el aumento de peso [189], aspecto importante en relación a la flotabilidad del deportista.

A pesar de que en deportes de combate hay muy pocos estudios, los resultados fueron muy prometedores. La mayoría de las modalidades de combate contemplan varias acciones de alta intensidad [243]. Donovan y col [244] llevó a cabo el estudio con boxeadores, donde se observó una mejora en la frecuencia de los golpes y en la fuerza media del golpe, después de 28 días de consumo. En un estudio con judokas, se mejoró significativamente la capacidad de realizar técnicas enlazadas [243].

Hasta el momento la mayoría de los estudios investigan el efecto ergogénico en deportes individuales, muy pocos investigadores han optado por conocer los beneficios de la suplementación de β -alanina en deportes de equipo [102]. Sin embargo, en la modalidad que más se ha investigado es el waterpolo [245], donde los resultados encontrados demuestran mejoras en el juego simulado de waterpolo [246], sobre todo en las pruebas realizadas de forma intermitente y específicas a la modalidad [190,247].

Por tanto, las modalidades deportivas que tienen fuerte evidencia de un efecto ergogénico de la suplementación con β -alanina son aquellas donde el metabolismo glucolítico juega un papel importante en el rendimiento del atleta [102].

1.4 EFECTO DE LA BETA-ALANINA EN EL RENDIMIENTO EN CICLISMO

El ciclismo profesional de carretera es un deporte con un componente aeróbico elevado, pero tiene múltiples esfuerzos en donde el ciclista debe mantenerse durante un tiempo considerable en el umbral de lactato o por encima de él, donde se produce la acumulación de acidez en mayor medida. Estos esfuerzos dependen del recorrido de la carrera y de la estrategia de ritmo (determinada por los competidores), generalmente con segmentos de subida e intervalos de sprints que obligan al corredor a rendir por encima de su estado físico estable. Es en estos tramos y especialmente en las etapas de contrarreloj [6,9] la suplementación con β -alanina podría ser una ayuda importante para mantener el rendimiento a lo largo de la temporada competitiva. Estudios anteriores mostraron diferentes resultados en ciclistas entrenados o moderadamente entrenados, con resultados divergentes con suplementación crónica con β -alanina [142,217,228,230,248–250]. Sin embargo, no se ha estudiado previamente como una ayuda ergogénica, con efecto de corta duración, puede hacer frente a la fatiga muscular acumulada durante una fase de sobrecarga fisiológica. En el estudio de Hoffman y col [251] se realizó una suplementación crónica de β -alanina durante un entrenamiento intenso, mostrando un aumento del rendimiento de potencia en militares. Estos resultados pueden darse en ciclistas del circuito mundial sometidos a un entrenamiento intenso.

1.4.1 Suplementación en el ciclismo

Desde un punto de vista metabólico, el ciclismo de ruta es un deporte de resistencia con exigencias aeróbicas muy elevadas registrando valores de VO_{2max} elevados [75,252–255].

Aunque actualmente existen diversos estudios que determinan el efecto de la suplementación de β -alanina en el rendimiento de los ciclistas, todos lo llevan a cabo con ciclistas moderada y altamente entrenados (Tabla 4).

Hill y col [121] después de llevar a cabo un registro de potencia máxima con una suplementación durante 10 semanas de suplementación con β -alanina, y mediciones de biopsia, corroboraron que la mejora de la capacidad del ejercicio de los ciclistas en la prueba de rendimiento se vio completamente relacionada con

el aumento de la carnosina intramuscular registrada. Van Thienen y col [142], a pesar de que la contrarreloj es una de las pruebas con mayor similitud entre el laboratorio y la competición real, no obtuvieron mejoras significativas en relación al grupo placebo después de un consumo de β -alanina durante 4 semanas, llegando a acumular un total de ~182 g. Sin embargo, si encontraron mejoras en un sprint máximo de 30 segundos en la potencia máxima (11,4%) y la potencia media (5%).

Al evaluar un protocolo hasta el agotamiento, Sale y col [256] y con una acumulación de ~179 g de β -alanina encontraron una probabilidad de mejora del 70%, determinando una posible mejora en la capacidad del ciclista en ejercicios de alta intensidad.

Bellinger y col [257] emplearon un protocolo de suplementación de ~129 g de β -alanina en 28 días de consumo, teniendo que realizar una contrarreloj de 4 min, y con una suplementación adicional de 300 mg/kg de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) antes de cada una de las pruebas. En este estudio se relacionaron los resultados a esta suplementación adicional aguda de NaHCO_3 , ya que se encontraron beneficios del 3,1% en el grupo placebo y de 3,3% en el grupo con consumo de β -alanina. Posteriormente, Howe y col [258] repitieron el mismo protocolo de suplementación en ciclistas altamente entrenados, que realizaron una contrarreloj de 4 min, aunque en esta ocasión sin consumo agudo de NaHCO_3 . De nuevo, no observaron mejoras en la potencia media ($p=0,25$), pero si una probabilidad del 44% de que el consumo de β -alanina tuviera un efecto positivo en el rendimiento.

A partir del estudio llevado a cabo por Chung y col [249], el consumo de β -alanina fue mayor que en estudios anteriores (~269 g de acumulación) y se comenzó a utilizar la β -alanina de liberación sostenida. El protocolo de medición utilizado fue una contrarreloj de 1 hora, y a pesar de mostrar un incremento en las concentraciones de carnosina muscular, los valores de rendimiento se redujeron, en el grupo placebo de forma significativa y en el grupo experimental con una tendencia a la misma. En línea con esto, James y col [259] con una acumulación de ~179 g de β -alanina, tampoco observaron mejoras en el rendimiento después de llevar a cabo contrarreloj de 20 km. Sin embargo, en este mismo año, Salles y col [260], si determinaron encontrar mejoras en el rendimiento con la suplementación de β -alanina después de realizar 4 pruebas de Wingate consecutivas. En este

estudio se pudo determinar que la β -alanina mejora el rendimiento en series repetidas de alta intensidad y corta duración.

Glenn y col [228,261] son los únicos que han llevado a cabo estudios con ciclistas femeninas, y en todos se observan mejoras en el grupo con consumo de β -alanina. En uno de ellos, las ciclistas mejoraron el tiempo hasta el agotamiento en un test supramaximal al 120% del $VO_{2m\acute{a}x}$. En ese mismo año, evaluaron la ingesta aguda de 1,6 g de β -alanina y aunque no encontraron mejoras significativas a nivel de rendimiento y a nivel fisiológico, si se observó una disminución de las puntuaciones en la escala de Borg después de realizar las tres pruebas de Wingate.

El primer estudio en el que se habla de dosis de mantenimiento es el llevado a cabo por Bellinger y Minahan [217] que lo llevan a cabo durante 2 semanas, después de 28 días con un consumo crónico más elevado. En este estudio determinaron que había un 94% de probabilidad de que el consumo de β -alanina provocase mejoras en la contrarreloj de 4 km, aunque las diferencias no fueran significativas para la potencia media y el tiempo realizado. Estos mismos autores publicaron dos estudios más donde replicaron el protocolo del estudio anterior. En uno de ellos [229], las dosis de mantenimiento las prolongaron a 5 semanas (acumulación de ~221 g de β -alanina) e intentaron comprobar si con un entrenamiento específico de sprints interválicos podrían mejorar aún más el rendimiento. En esta ocasión si se obtuvieron mejoras para la potencia media y el tiempo en los sprint de 1 km y una mejora en el rendimiento de los 4 km de contrarreloj, tanto en el tiempo ($1,7 \pm 1,7$ %, $p=0,04$) como en la potencia realizada ($+4,1 \pm 4,0$ % $p=0,03$). En el otro estudio [230], llevado a cabo por estos autores, los ciclistas disminuyeron los tiempos de realización de la prueba de contrarreloj y aumentaron los valores de la potencia anaeróbica media.

En el estudio llevado a cabo por Silva y col [262], mediante un protocolo de test de alta intensidad de 4 series de 1 min al 110% de la potencia máxima, con un descanso entre series de 1 min seguida de una contrarreloj de 10 min a 30 kJ, no determinaron encontrar mejoras en el grupo con consumo de β -alanina. En este estudio volvieron a llevar a cabo la combinación de la suplementación con $NaCO_3$, y se vio una tendencia a la significancia en ambas pruebas en el grupo con suplementación de $NaCO_3$ y β -alanina.

El último estudio registrado fue el llevado a cabo por Perim y col [263], que tras un consumo durante 6 semanas y una acumulación de ~269 g de β -alanina no mostraron mejoras en el rendimiento de las pruebas de sprint ni en la contrarreloj de 4 km con inclinación de un 5%. Sin embargo, si determinaron que el consumo de β -alanina aumentó los niveles de carnosina muscular de forma significativa en comparación con el grupo placebo.

En línea con todos los estudios comentados, se podría determinar que aparentemente, las contrarrelojes largas de 10 km a carreras con duración de > 1 h no se ve influenciada por la suplementación con β -alanina [142,217,249,259], lo que no es sorprendente porque esta duración de la prueba tiene un predominio aeróbico. Sin embargo, durante las carreras de ciclismo largas, se realizan esfuerzos de alta intensidad en varios momentos para atacar a un adversario durante una persecución, así como esfuerzos cuesta arriba y otras acciones que aumentan el aporte anaeróbico y consecuentemente la acidosis. En este sentido, cuando se realizó un sprint (30 segundos) al final de este tipo de prueba, Van Thienen y col [142] demostraron que la suplementación con β -alanina puede ser eficaz para mejorar el rendimiento en los sprints. En la carrera más corta, los resultados más prometedores con la suplementación con β -alanina se encuentran en la contrarreloj de ~4 km, que dura entre 4 y 6 min [217,229,230], y la suplementación es aparentemente ineficaz en carreras de ~1 min (1 km) [217]. Estas mejoras también se observan en los sprint llevados a cabo después de pruebas prolongadas en el tiempo [142], es decir, produce mejoras en las pruebas donde realmente se produce una mayor acumulación de H^+ dando la posibilidad a la carnosina muscular a poder tamponar y mejorar la tolerancia a la fatiga.

En estudios con cuatro pruebas de Wingate de 30 segundos y min de recuperación entre esfuerzos, Salles Painelli y col [260] y Tobias y col [264] encontraron una mejora significativa en el rendimiento con la suplementación con β -alanina, así como Bellinger y col [229] informaron una mejora significativa en el tercer y cuarto sprints de los sprints de ciclismo de 4×1 km separados por 4 min de recuperación activa. Sin embargo, utilizando un protocolo similar al de Salles Painelli y col [260] y Tobias y col [264] pero con una recuperación de 4 min, Cochran y col [190] no encontraron una mejora significativa en el rendimiento. Smith-Ryan y col [161] tampoco encontraron ninguna mejora en los esfuerzos

hasta el agotamiento a 3 intensidades diferentes (90, 100 y 110% de la velocidad máxima) utilizando intervalos largos (15 min) entre esfuerzos. Sin embargo, el intervalo utilizado por Smith-Ryan y col [161] podría haber sido lo suficientemente largo para permitir la restauración del pH intramuscular. Recientemente, Bech y col [265] investigó los efectos de la suplementación con β -alanina en una prueba de kayak ergómetro de 5 \times 250 m separada por 3 min de recuperación y no se informó ningún efecto ergogénico. Por lo tanto, en esfuerzos máximos de ≥ 30 segundos con > 3 min de recuperación entre esfuerzos, el efecto ergogénico de la suplementación con β -alanina es más probable. Por otro lado, las posibilidades de que el efecto de la suplementación con β -alanina sea eficaz para mejorar el rendimiento disminuyen cuando los esfuerzos intermitentes son cortos (≤ 10 segundos) y con períodos de recuperación cortos (≤ 60 segundos).

Por último, los estudios que determinan obtener mejoras en el rendimiento requieren de un mínimo de ~ 90 g de β -alanina en mujeres y ~ 130 g de β -alanina en hombres ciclistas, repartidos en 4 semanas.

Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas. Revisión de estudios llevados a cabo desde 2007 hasta 2021.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
Hill y col (2007) [121]	25 ciclistas entrenados BA= 13; PL= 12	Semana 1 = 4g/día Semana 2 = 4,8g/día Semana 3 = 5,6g/día Semana 4-10 = 6,4g/día Dividida en 8 dosis	Biopsia Prueba de registro de potencia máxima (80% primeros 15s, 95% siguientes 15s y 110% hasta la extenuación)	BA mejora la capacidad del ejercicio, vinculada al aumento de la carnosina intracelular.
Van Thienen y col (2009) [142]	17 jóvenes ciclistas entrenados BA= 9; PL= 8	2g/día (semana 1y2) 3g/día (semana 3y4) 4g/día (semana 5-8)	Simulación de carrera de 110 min, seguido de una contrarreloj de 10 min y un sprint máximo de 30 segundos	<u>Contrarreloj</u> : no diferencias significativas en potencia media entre ambos grupos <u>Sprint</u> : BA mejora +11,4% potencia máxima y +5% potencia media
Sale y col (2011) [256]	20 jóvenes ciclistas entrenados BA=10; PL=10	6,4 g/día durante 4 semanas	Protocolo tiempo hasta el agotamiento al 110%	BA mejora la capacidad del ciclismo de alta intensidad Probabilidad de mejora del 70%, pero no significativa

Continuación Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
Bellinger y col (2012) [257]	14 ciclistas entrenados hombres c/grupo n=7; cruzado <u>Placebo</u> : PL + BS; BS + PL <u>B-alanina</u> : BA + BS; BS + BA	65 mg/kg de peso 4 dosis diarias 28 días de consumo Tras 28 días, 90 min antes los sujetos ingerían PL o BS	Contrarreloj de 4 km, donde medía la potencia máxima, media y trabajo total.	BA no mejora el rendimiento, aunque se observa una tendencia a ello. Suplementación aguda BS mejoró significativamente el rendimiento
Howe y col (2013) [258]	16 ciclistas altamente entrenados hombres 2 grupos: BA, PL	65 mg/kg de peso 4 dosis diarias 4 semanas de consumo	Contrarreloj de 4 min 30 contracciones isocinéticas máximas rodilla (180°-s-1)	BA mejoró +44% potencia media, pero no fue significativo BA mejoró fuerza isocinética y disminuyó fatiga
Chung y col (2014) [249]	27 ciclistas/ triatletas bien entrenados BA=14; PL= 13	6,4 g/día durante 6 semanas	Contrarreloj de 1 hora de duración	PL más lento, BA tendencia a ir más lento. BA, mayores concentraciones de acidosis, pero sin afectar el rendimiento

Continuación Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
James y col (2014) [259]	19 ciclistas categoría 1 Reino Unido BA=10; PL= 9	6,4 g/día durante 4 semanas 800mg, 4 veces al día	Realizaron 4 pruebas de contrarreloj de 20km (2 antes y 2 después suplementación)	BA no mejoró el rendimiento con respecto al PL
De Salles y col (2014) [250]	20 ciclistas entrenados (E)/no entrenados (NE) E + PL = 10 E + BA = 9 NE + PL = 10 NE + BA = 10	6,4 g/día durante 4 semanas	4 series de Wingate	BA mejoró el rendimiento repetido de alta intensidad en E y NE
Glenn y col (2015a) [228]	22 ciclistas mujeres PL = 11 BA = 11	PL = 8 g de dextrosa; BA = 800 mg + 8 g de dextrosa) 4 veces al día, durante 28 días	Prueba hasta al agotamiento al 120% del VO_{2max}	BA aumentan el tiempo hasta el agotamiento y el trabajo total completado, en mujeres

Continuación Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
Glenn y col (2015b) [261]	12 ciclistas mujeres PL = 6; BA = 6	1.6 g de ingesta aguda	3 series de Wingate con 2 min descanso; después de 30 min de ingesta	BA reducción RPE posterior a los dos primeros Wingate
Bellinger y Minahan (2015) [217]	14 ciclistas entrenados PL = 7; BA = 7	6.4 g/día durante 4 semanas	2 series de pruebas supramáximas (familiarización y línea de base) hasta el agotamiento (120% del $VO_{2máx}$) y contrarreloj en bicicleta de 1,4 y 10 km.	BA aumentó el tiempo hasta el agotamiento y mejoró rendimiento contrarreloj 4 km. No mejoró en la contrarreloj de 1 y 10 km
Glenn y col (2016) [266]	22 ciclistas mujeres PL = 11; BA = 11	PL = 8 g de dextrosa; BA = 800 mg + 8 g de dextrosa) 4 veces al día, durante 28 días	Dinamometría manual Dinamometría isocinética 240°/180°·s-1	BA aumentó la media del valor pico y el trabajo total de dinamometría isocinética
Bellinger y Minahan (2016a) [248]	14 ciclistas varones entrenados PL=7; BA=7	6.4 g/día durante 4 semanas y 1,2g/día durante 1 semana	Prueba hasta al agotamiento al 120% Contrarreloj de 4 y 10 km 4 sprint de 1 km	BA mejoraron los sprint 3 y 4. Mejoró el tiempo hasta el agotamiento

Continuación Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
Bellinger y Minahan (2016b) [230]	17 ciclistas varones entrenados PL=8; BA=9	6.4 g/día durante 4 semanas	Prueba hasta al agotamiento al 120% del VO _{2max} Contrarreloj de 4 km	BA mejoró el tiempo hasta el agotamiento, capacidad anaeróbica, tiempo de contrarreloj y potencia anaeróbica
Lee y col (2016) [267]	14 ciclistas mujeres entrenados PL=7; BA=7	3 veces al día durante 8 semanas	Fuerza muscular isocinética a 60° y 180° · s-1 y contrarreloj de 3 km	BA mejora el tiempo de contrarreloj
Al Horani y col (2017) [268]	16 sujetos 10 hombres y 6 mujeres	BA: 5 g de BA, 10g dextrosa PL: 15g dextrosa	Wingate de 30 segundos	BA no mejora el rendimiento de la prueba de Wingate
Da Silva y col (2018) [262]	71 ciclistas varones BA + PL = 18 PL + BS = 17 BA + BS = 19 PL + PL = 18	6.4 g/día durante 28 días de BA 0.3 g/kg de BS	4 series de 60 s al 110% de potencia máxima Tras 10 min, contrarreloj a 30 kJ	No mejoras en el rendimiento, salvo en los grupos con consumo de BS

Continuación Tabla 4. Efecto de la β -alanina en la mejora del rendimiento de ciclistas.

Referencia Bibliográfica	Muestra y grupos	Dosis suplementación	Metodología	Resultados relevantes
Perim y col (2021) [263]	17 jóvenes ciclistas entrenados BA=11; PL=6	6,4 g/día durante 6 semanas	Protocolo intermitente de 125 min, sprint 10 s cada 20 min y contrarreloj 4 km (inclinación 5%)	BA no mejoras en los sprints, ni cambios en la contrarreloj BA aumentó la carnosina, pero no mejoró el rendimiento

BA= grupo β -alanina; PL= grupo placebo; BS= bicarbonato sódico; E= entrenados; NE=no entrenados

Tras lo expuesto anteriormente, se puede determinar que el objetivo de la suplementación con β -alanina es aumentar los niveles de concentración de la carnosina muscular. Saunders y col [127] determinaron que los niveles de carnosina muscular aumentaron en un 200% tras la ingesta de 24 semanas de suplementación con una dosis de 6,4 g/día de β -alanina, y algunos estudios determinan que es posible que estos niveles se puedan ver aumentados si la suplementación se realiza en dosis más elevadas [174]. A pesar de esta hipótesis, muy pocos estudios han optado por utilizar dosis más altas, ya que podría ser posible que se manifieste en mayor medida el efecto secundario de la suplementación de β -alanina que son las parestesias [99]. Debido a ello, se comienza a plantear la ingesta en varias dosis al día para reducir dicho efecto, así como utilizar fórmulas de liberación sostenida, con las que se pretende que el principio activo se libere de forma progresiva sin conseguir generar el pico de β -alanina en el torrente sanguíneo [93].

La hipótesis de este trabajo se basó en que aumentar las dosis de β -alanina diaria a 20 g/día, con un tipo de suplementación de liberación sostenida, dividiendo dicha ingesta diaria en 4 dosis diferentes (5 g por ingesta de β -alanina), mejoraría el rendimiento deportivo de ciclistas profesionales de la UCI, altamente entrenados, en tan solo una semana y con bajos niveles de parestesias. Además, durante esta semana los ciclistas se encontrarían en una concentración de entrenamiento intensivo soportando una carga de entrenamiento significativa.

II - JUSTIFICACIÓN

II - JUSTIFICACIÓN

La β -alanina se ha convertido en una de las ayudas ergogénicas más utilizadas en deportistas de alto nivel, sobre todo en deportes donde el componente anaeróbico ocupa un papel limitante en el rendimiento. La ingesta de esta suplementación se ha popularizado tanto, que actualmente se encuentra entre los cinco suplementos avalados por el Comité Olímpico Internacional [84].

El efecto ergogénico, a nivel fisiológico, se debe a la unión de la β -alanina con la L-histidina, cuya combinación produce un dipéptido llamado carnosina. La carnosina tiene efecto en la actividad antioxidante, el aumento de la sensibilidad del calcio en la contracción muscular y una gran capacidad de amortiguación intracelular de H^+ . Es una ayuda capaz de mejorar el rendimiento gracias al retraso de la fatiga en tramos que duran entre 30 segundos y 10 min [141], característicos de segmentos de escalada de alta intensidad y sprints en el ciclismo profesional.

El factor limitante del consumo de esta suplementación radica en la aparición de parestesias, que provoca sensación de picor u hormigueo después del consumo, y que se podría evitar ajustando las dosis adecuadas en los tiempos adecuados. En los estudios actuales, se requiere de periodos largos de consumo, con una suplementación diaria que no supera los 6,4 g, con el objetivo de aumentar significativamente los niveles de carnosina muscular y por tanto obtener los beneficios fisiológicos. La razón de que estas dosis no se hayan aumentado es debido al efecto secundario que supone esta suplementación, que son las parestesias. Sin embargo, las fórmulas de liberación sostenida de β -alanina podrían lograr reducir este efecto, permitiendo aumentar las dosis diarias y reducir el tiempo de consumo. Hasta la fecha no se ha llevado a cabo ninguna investigación que pueda corroborar dicha hipótesis, y mucho menos con deportistas de alto nivel.

A pesar de que el ciclismo profesional de carretera es un deporte aeróbico, cuenta con pruebas y segmentos de escaladas y sprints que requiere de un gran esfuerzo físico por parte de los ciclistas. En estos tramos y en las pruebas de

contrarreloj la suplementación con β -alanina podría ayudar a mantener la producción de potencia, manteniendo la carga de entrenamiento sin una fatiga excesiva, o incluso, aumentar el rendimiento en esa situación. Es por ello por lo que la naturaleza del deporte y la exigencia de las competiciones hace que sea uno de los deportes clave para este tipo de suplementación, ayudando hipotéticamente durante estas situaciones de estrés fisiológico.

En este estudio se evalúa la ingesta de dosis elevadas de β -alanina durante una sola semana de duración. Con el objetivo de mejorar el rendimiento de un equipo de ciclistas World Tour altamente entrenados, después de una semana de entrenamiento intensivo.

III - OBJETIVOS

III - OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar la eficacia del consumo de 20 gramos/día de β -alanina durante una semana de entrenamiento intensivo en ciclistas profesionales de carretera.

3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

Los objetivos secundarios se detallan a continuación:

1. Determinar las modificaciones que produce la ingesta de β -alanina en el rendimiento de los ciclistas de resistencia profesional de carretera durante una semana de entrenamiento intensivo, en una contrarreloj con limitación temporal, en condiciones de laboratorio.
 - a. Potencia media
 - b. Distancia recorrida
 - c. Trabajo total
 - d. Área bajo la curva del trabajo realizado
 - e. Área bajo la curva de la potencia
 - f. Cadencia media
 - g. Escala subjetiva del esfuerzo (Escala Borg)
 - h. Fuerza de pedaleo
 - i. Escala subjetiva del esfuerzo
2. Evaluar las modificaciones bioquímicas después de la ingesta del producto de 20 gramos/día de β -alanina durante una semana de entrenamiento intensivo, en una contrarreloj con limitación temporal, en condiciones de laboratorio.
 - a. Lactato
 - b. Valores de gases en sangre
 - c. Estado ácido – base
 - d. Variable de electrolitos

3. Determinar las modificaciones que produce la ingesta de β -alanina en el rendimiento de los ciclistas de resistencia profesional de carretera durante una semana de entrenamiento intensivo, en una contrarreloj con limitación de distancia, es decir, en condiciones reales de competición.
 - a. Tiempo global
 - b. Tiempo por tramos
 - c. Potencia relativa
 - d. Potencia media global
 - e. Potencia por tramos
 - f. Frecuencia cardiaca media
 - g. Frecuencia cardiaca por tramos
 - h. Desnivel acumulado
 - i. Escala subjetiva del esfuerzo
4. Evaluar las modificaciones de lactato después de la ingesta del producto de 20 gramos/día de β -alanina durante una semana de entrenamiento intensivo, en una contrarreloj con limitación de distancia.
5. Evaluar la seguridad del producto en investigación.

IV - MATERIAL Y MÉTODO

IV - MATERIAL Y MÉTODO

4.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

Ensayo clínico aleatorizado, controlado, doble ciego y unicéntrico, de dos ramas paralelas en función del producto consumido (producto experimental: β -alanina y producto placebo), para medir la eficacia sobre el rendimiento físico de un suplemento de β -alanina consumida durante 7 días en ciclistas profesionales.

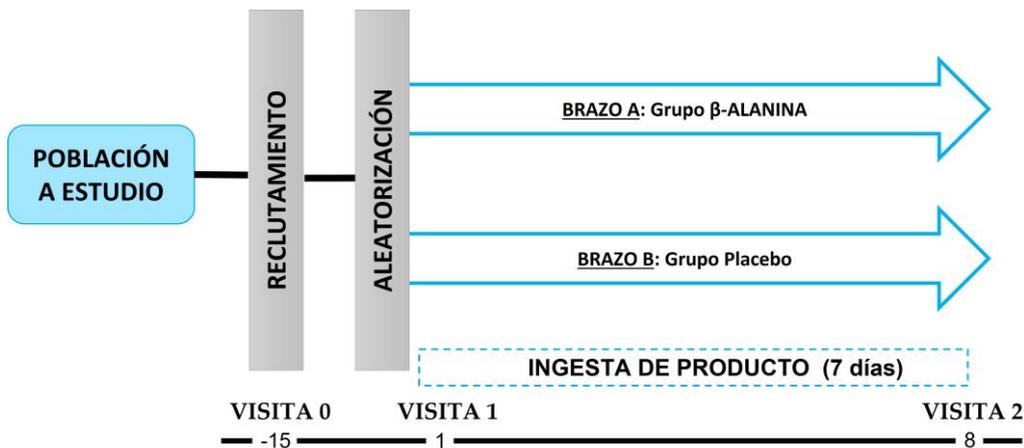


Figura 6. Representación gráfica del diseño del estudio

Se realizaron dos pruebas diferentes, una en condiciones de laboratorio, donde los sujetos debían de realizar una contrarreloj con limitación de tiempo en 10 min y donde el objetivo era realizar el mayor número de metros posible. Se cuantificó el rendimiento físico y las respuestas bioquímicas al principio y al final de la intervención y del consumo de 20 g/días durante los 7 días de consumo.

La segunda prueba que realizaron los ciclistas se llevó a cabo en el mismo día, y después de un descanso programado a la prueba realizada en condiciones de laboratorio. En dicha prueba debían de realizar una contrarreloj con limitación de distancia en condiciones reales, en el Coll de Rates (collado entre las montañas del Ferrer y la sierra del Carrascar de Parcent, Benidorm – Gandía), en un

recorrido delimitado y conocido por los ciclistas (4,5 km), con el objetivo de realizarla en el menor tiempo posible. Se cuantificó el rendimiento y las respuestas bioquímicas al principio y al final de la intervención y del consumo de 20 g/días durante los 7 días de consumo.

El ensayo clínico se llevó a cabo en enero de 2020, coincidiendo con el inicio de la pretemporada de los ciclistas, y coincide con las concentraciones de entrenamiento intensivo.

4.1.1 Población objeto de la investigación

Los sujetos de estudio fueron ciclistas pertenecientes a un equipo mundial de la Unión Ciclista Internacional (UCI) en el top 5 de la categoría de carretera de élite masculina el año anterior al inicio del estudio (2019), según el ranking de la UCI para la clasificación mundial por equipos publicado oficialmente en su página web [269]. Se incluyó un total de 13 sujetos, siguiendo los criterios que se resumen a continuación. Todos los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos de intervención.

Criterios de inclusión

Para poder ser incluidos, los sujetos debían de cumplir con todos y cada uno de los siguientes criterios:

- Ciclistas profesionales activos masculinos pertenecientes a un equipo mundial de la UCI.
- No realizar ejercicio extenuante en las 24 horas previas a la primera visita.
- Tener un calendario de competición que permitiera completar el estudio, respetando las cargas de los entrenamientos.

Criterios de exclusión

- Tener alguna enfermedad crónica.
- Haber sufrido una lesión que impidiera el entrenamiento durante el mes anterior al inicio del estudio.
- Tener alguna alergia a la β -alanina o a cualquier componente del placebo: trigo, soja, frutos secos (incluidos los cacahuetes), sésamo o cualquiera de sus derivados.

- No entender o negarse a firmar el consentimiento escrito previo al estudio.
- Haber tomado previamente suplementos de β -alanina, en los dos meses anteriores al inicio del estudio.
- En los últimos 15 días antes del estudio o durante el mismo, utilizar cualquier suplementación que potencie el rendimiento.

4.1.1.1 Aleatorización

Tras firmar el consentimiento informado y pasar el proceso de selección cumpliendo los criterios de inclusión, los participantes pasaron a ser considerados como sujetos a estudio. Fueron aleatorizados en una misma proporción a uno de los 2 grupos de los que constó el estudio: grupo experimental que consumió el producto en estudio (β -alanina) y grupo control que consumió un producto placebo (sémola de trigo). La aleatorización fue simple. Se llevó a cabo con un generador informático de números aleatorios (Epidat v.4.1) por el investigador principal (Anexo 1). A cada sujeto que participó en el estudio se le asignó un código que le hizo pertenecer a uno de los dos grupos de estudio.

Todos los que participaron en el estudio desconocieron el grupo al que pertenecieron, al igual que los investigadores. Para ello se preparó una hoja, donde se estableció el código del sujeto y código del producto consumido.

Esta distribución aleatoria quedó firmada y fechada en la hoja de aleatorización, y solamente al finalizar el estudio se comunicó qué números de producto pertenecían a producto de β -alanina y cuales pertenecían a producto placebo.

4.1.1.2 Cegamiento

Se trata de un ensayo clínico doble ciego, con el objetivo de que el equipo investigador y los sujetos participantes en el estudio no pudiesen saber al grupo que pertenecían.

Para ello, se seleccionó un placebo de idénticas características y del mismo aspecto que el producto en investigación, aunque sin actividad. Ambos fueron

fabricados por el promotor. Puesto que los productos fueron idénticos y la asignación al grupo de seguimiento fue ciega, no se consideró otro tipo de mecanismo de enmascaramiento.

Los productos fueron marcados con una etiqueta que los identificó como pertenecientes al ensayo clínico con código de protocolo (PI080120 NID y PI080120 NIE), siendo el NID el grupo con consumo de β -alanina y el grupo NIE el que consumía el producto placebo, así como con el código del sujeto al que pertenecía el bote de producto (Figura 7). El personal que analizó todos los datos también estuvo cegado en todo momento.



Figura 7. Bote de producto con codificación de producto y de sujeto

4.1.1.3 Criterios de retirada y abandono

Los sujetos podían abandonar el estudio en cualquier momento, con o sin motivos, y sin perjuicio para ellos. Además, no se sometieron a un seguimiento adicional ni fueron sustituidos. En todos los casos de abandonos se registró el motivo. Por otra parte, los integrantes del equipo investigador tuvieron total libertad para retirar a un sujeto del estudio si lo consideraron oportuno. Los datos recogidos sobre los sujetos que se retiraron se conservaron y utilizaron en el análisis global.

El investigador podía retirar a un sujeto del estudio si consideraba que este ya no podía cumplir con la totalidad de los requisitos de este o si alguno de los procedimientos se consideró nocivo para él.

La realización de las pruebas demandó una serie de requisitos por parte de los sujetos, los cuales debían de cumplir los días previos a la consecución de la prueba. El incumplimiento de alguno de estas condiciones supuso la retirada del sujeto del estudio. Estas condiciones eran:

- No respetar el descanso el día anterior a la medición.
- No encontrarse en periodo post-prandial los días de medición.
- Haber consumido algún tipo de estimulante o droga el día de la prueba o estar bajo efectos agudos o crónicos de sustancias que generaran alteraciones físicas o psicológicas, que pudieran impedir una correcta percepción del esfuerzo.
- No poder realizar todas las pruebas de las condiciones experimentales en el mismo momento del día.
- No reproducir la misma dieta las 24 horas anteriores de cada una de las pruebas.

Además, el sujeto será excluido del estudio si ocurren alguno de los siguientes acontecimientos:

- Presencia de acontecimiento adverso.
- Otras violaciones del protocolo.
- Decisión facultativa.
- Renuncia del individuo a continuar en el estudio.
- Pérdida de seguimiento.

Pérdidas pre-randomización

Se consideraron pérdidas pre-randomización en los sujetos aquellas que ocurrieron antes del comienzo del consumo del producto, pero que previamente fueron seleccionados para llevar a cabo el ensayo. Estas pérdidas pueden ser por decisión del investigador o por el abandono del sujeto de forma voluntaria. También han quedado registradas convenientemente en el correspondiente cuaderno de recogida de datos (CRD) y detalladas en el diagrama de flujo.

4.1.2 Producto administrado

4.1.2.1 Producto propuesto para investigar

El producto empleado para la realización de este estudio fue β -alanina (BETAFOR3MAX®, Martínez Nieto S.A., Cartagena, España). Es una fórmula novedosa en formato polvo que contiene β -alanina de liberación sostenida (Anexo 2) (Figura 8).



Figura 8. Producto en investigación

El ajuste de dicha dosis de β -alanina viene respaldado por un estudio previo (no publicado) con sujetos físicamente activos. Se les administró una dosis aguda de 5 g y no informaron de parestesias. Además, se llevó a cabo un estudio de biodisponibilidad, donde se demostró la idoneidad de esta mezcla de β -alanina en polvo de liberación sostenida frente una formulación de comprimidos de liberación lenta. La administración fue de 8 g en una ingesta aguda y no se produjeron efectos secundarios adicionales a las parestesias esperadas [175]. En este estudio se determinó que cuando se administra en polvo, el doble de la cantidad de producto llega a la circulación sistémica. En dicho estudio farmacocinético se pudo descartar que la carnosina tuviera un efecto ergogénico adicional a la β -alanina y L-histidina. La L-histidina, por su parte, puede influir en la fatiga mental, pero a una dosis diaria mucho mayor (1,65 g durante 2 semanas) [270]. Sin embargo, el fundamento de la L-histidina presente en esta mezcla es ayudar a mantener la síntesis de carnosina en vista de los periodos crónicos de β -alanina en los que la disponibilidad de L-histidina en el músculo puede verse comprometida [271].

Los sujetos debían de consumir durante 7 días, en 4 ingestas diarias de 5 g después de las comidas (desayuno, comida, merienda y cena), dejando al menos 4 horas entre cada una de las ingestas. Cada toma de producto consistía en 5 g de β -alanina, 37,5 mg de L-histidina y 12,5 mg de carnosina, lo que suponía un total al día de 20 g de β -alanina, 150 mg de L-histidina y 50 mg de carnosina. El inicio de la suplementación comenzó el mismo día de la primera visita de pruebas, en la dosis de la merienda y finalizó el mismo día de la segunda visita, con el desayuno. Por lo que los ciclistas realizaron un total de 31 ingestas, siendo la cantidad total acumulada durante todo el estudio de 155 g de β -alanina, 1,16 g de L-histidina y 387,5 mg de carnosina.

El lote empleado (PI080120 NID) fue sometido a un análisis en un laboratorio externo para conocer si tenía alguna sustancia dopante (Informed Sports LGS Supplement Screen service, LGC Group, Cam-bridgeshire, Reino Unido), no encontrándose ninguna (Anexo 3).

Para consumir la suplementación de β -alanina los sujetos debían evitar el masticado, ya que podrían romper la liberación sostenida propia del producto. Los sujetos debían de rellenar un tubo completo que se les entregó (el cual contenía la dosis necesaria para cada ingesta), e ingerirlo con ayuda de agua (previa al consumo del producto, o posterior) (Figura 9).



Figura 9. Medidor de producto y muestra de una ingesta de producto en investigación

4.1.2.2 *Producto placebo*

Durante el estudio, el grupo control consumió producto placebo con una posología muy similar al producto en estudio, con el fin de enmascarar el producto a los sujetos que se encontraban consumiéndolo.

Consistía en un producto de estructura granulosa constituido por el endospermo procedente de la molturación de trigo duro (*Triticum durum*), industrialmente limpio, conocido como sémola de trigo gruesa (sin cocer) (Anexo 4).

La dosis, en volumen, fue la misma que la del grupo con consumo de producto experimental, teniendo que ingerir en 4 tomas diferentes una cucharada de dicho producto (33 g de sémola al día), el cual aportaba una pequeña cantidad de macronutrientes que se detallan en la siguiente tabla (Tabla 5). Este producto no produce ningún efecto ergogénico.

Tabla 5. Cantidad de macronutrientes del producto placebo por cada 100 g de producto y por cada 33 g que se consume en un día.

	Por 100 g	Por 33 g
Calorías	379 kcal/ 1596 KJ	126 kcal / 527 KJ
Proteína	11,50 g	3,8 g
Carbohidratos	69,43 g	22,9 g
De los cuales azúcar	trazas	trazas
Fibra	4,0 g	1,3 g
Cenizas	0,80 g	0,3 g
Agua	13,6 g	4,5 g
Vitamina E	0,1 g	0,03 g
Grasas	0,67 g	0,2 g
Saturadas	0,16 g	0,05 g
Monoinsaturados	0,20 g	0,07 g
Poliinsaturadas	0,31 g	0,1 g
Trans	-	-
Ácidos grasos Omega-6	-	-
Sal	7,5 mg	2,5 mg
Sodio	3,0 mg	1,0 mg

4.1.2.3 Cumplimiento de la ingesta del producto

Ambos productos fueron fabricados por la misma empresa en envases opacos, sellados y etiquetados con el código del producto, y con el código de los sujetos. Antes de ser entregados a los sujetos fue pesado con el objetivo de conocer el cumplimiento de la ingesta de producto. El cumplimiento de la dosis se define como el peso del consumo del producto tomado por los sujetos durante el estudio, menos el producto dado en un inicio por los investigadores. El envase contenía más producto del necesario durante el estudio por si se perdía parte del contenido debido a un derrame accidental durante la ingesta o la manipulación. Esto también fue útil para detectar el vaciado intencionado para engañar sobre el cumplimiento de la ingesta.

Dado que los tratamientos fueron consumidos por los sujetos en la concentración de entrenamiento intensiva que llevaron a cabo en el hotel donde se realizaron las pruebas, el control del cumplimiento se realizó al finalizar el estudio. La forma en la que se llevó a cabo fue mediante el pesaje del bote en el que fue entregado el producto, por lo que los sujetos debían de entregar dicho recipiente, así como el tubo con el que se realizaban las mediciones de los gramos por toma (Anexo 5). Aun así, la médico del equipo les recordaba cada día que debían de realizar el consumo de suplementación.

Debido al periodo corto de consumo, solo se permitió el olvido de 2 tomas de consumo, es decir, del 6,45% del total de las dosis. Acumulando por tanto un máximo de 145 g de β -alanina.

4.2 VARIABLES

Todas las variables se analizaron en la población objeto de estudio, al inicio y final de la semana de consumo ininterrumpido de producto.

Para poder participar en el estudio todos los sujetos tuvieron que seguir unas recomendaciones higiénico – dietéticas que fueron explicadas y entregadas por el investigador al inicio del estudio.

- No debían comenzar ni modificar ningún tratamiento hormonal durante el estudio.

- No cambiar los protocolos nutricionales ni el programa de entrenamiento diseñado por nutricionistas, entrenadores y médicos del equipo.
- No tomar ni seguir ningún tratamiento ni suplemento que pudiera afectar a los parámetros del estudio.

Para llevar a cabo las pruebas físicas (tanto las realizadas en condiciones de laboratorio como contrarreloj realizada en condiciones reales) se les determinó lo siguiente:

- Los sujetos no podían realizar ejercicio extenuante en las 24 horas anteriores.
- Tenían que haber dormido el tiempo habitual en la noche anterior.
- No debían encontrarse en periodo post-prandial. Por esta razón se le controló el desayuno y el almuerzo previo a cada una de las pruebas.
- No haber consumido ningún tipo de estimulante o droga el día de la prueba o estar bajo efectos agudos o crónicos de sustancias que generen alteraciones físicas o psicológicas que pudieran impedir una correcta percepción del esfuerzo.
- Debían de realizar todas las pruebas en el mismo momento del día.
- No debían hacer tareas exigentes a nivel mental en las 24 horas anteriores a las pruebas.
- Tenían que reproducir la misma dieta y ejercicio las 24 horas anteriores de cada una de las pruebas.

4.2.1 Características generales de los ciclistas

Se tomaron las características generales de los sujetos participantes en el estudio. Estas medidas fueron:

- Edad de los sujetos, en años.
- Años de práctica de dicho deporte.
- Días/sesiones de entrenamiento a la semana.
- Horas de entrenamiento por día.
- Talla de los sujetos, se midió mediante el tallímetro SECA 216.
- Experimentación previa con β -alanina.

- $VO_{2máx}$, medida tras la realización de una prueba de esfuerzo.
- Umbrales ventilatorios, medida tras la realización de una prueba de esfuerzo.

4.2.2 Variables de la contrarreloj con limitación temporal

4.2.2.1 Variables de rendimiento

Se realizó una contrarreloj con una duración de 10 min en un ergómetro de accionamiento directo con freno electrónico (Cyclus2, RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Alemania). Las bicicletas utilizadas fueron las propias de los ciclistas con las que competían en el circuito mundial.

Antes de llevar a cabo la contrarreloj, los sujetos realizaron un calentamiento precompetitivo de 10 min de duración con diferentes cambios de ritmo y estandarizado para todos los ciclistas del equipo, seguido de una recuperación pasiva de 2 min. Durante la prueba, el desarrollo de la bicicleta permaneció fijo (plato \times piñón: 53 \times 11), y para poder cambiarlo, tuvieron que realizarlo a través del panel de control del ergómetro. Con el objetivo de que los sujetos no estuvieran condicionados, todos los datos que ofrece la pantalla de control del cicloergómetro (potencia, fuerza de pedaleo, trabajo total, velocidad y distancia), estaban ocultos, excepto el tiempo, para que los sujetos no supieran cuál era su rendimiento (Figura 10).

Las variables de rendimiento que se midieron en esta prueba fueron:

- Potencia media (W).
- Distancia recorrida (m).
- Trabajo total (J).
- Área bajo la curva (AUC) del trabajo (J \times m).
- AUC de la potencia (W \times m).
- Cadencia media (rpm).
- Fuerza de pedaleo (N).

Después de la prueba, los ciclistas pedalearon durante 3 min más a carga constante (50 W) para favorecer la recuperación.

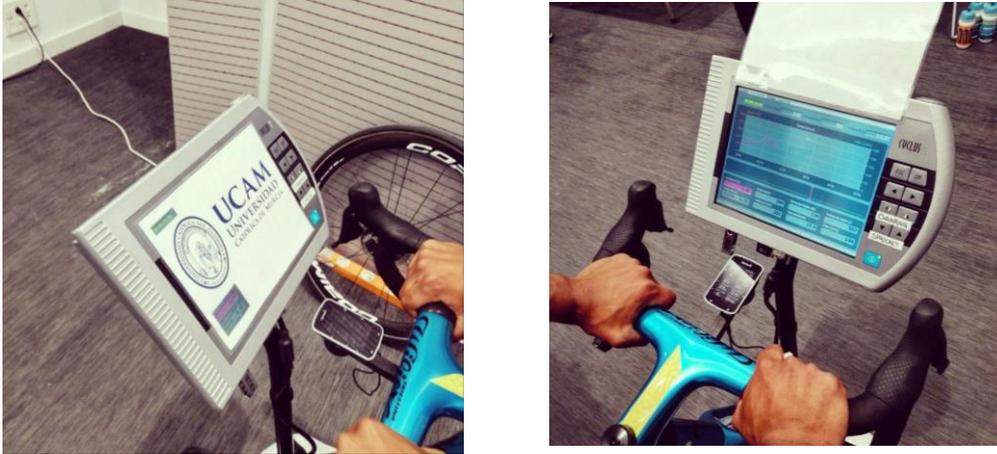


Figura 10. Cegamiento de la pantalla de control del cicloergómetro

Todos estos datos fueron registrados cada 51 milisegundos, registrando un total de 1196 datos mediante el ergómetro utilizado en la medición. Estos datos fueron volcados a una hoja de Excel donde fueron tratados teniendo en cuenta los valores finales alcanzados en la prueba, es decir, se tuvieron en cuenta los valores de forma global.

A partir de las variables de potencia y trabajo total se calculó el AUC tomando como base el valor inicial del parámetro (metodología OMS) calculándose mediante la regla trapezoidal.

- *Percepción subjetiva al esfuerzo (RPE). Escala de Borg.*

Otra variable de rendimiento calculada con el fin de determinar la intensidad del ejercicio realizada por los ciclistas fue la RPE. Esta variable se midió mediante una escala de Borg modificada de 10 puntos [53]. Es una escala de cuantificación del esfuerzo percibido por el sujeto y tiene un sistema de puntuación de 0 a 10 puntos, a mayor valor numérico mayor esfuerzo percibido por el deportista (0: esfuerzo muy ligero - descanso; 10: esfuerzo muy muy duro). Para ello se utilizaron escalas visuales (Figura 11). Esta escala fue recogida en varios momentos.

Durante esta prueba la escala se pasó en dos ocasiones. La primera de ellas fue al minuto de haber finalizado el calentamiento y como base de la prueba y la segunda medición, justo al finalizar los 10 min de la prueba de contrarreloj.

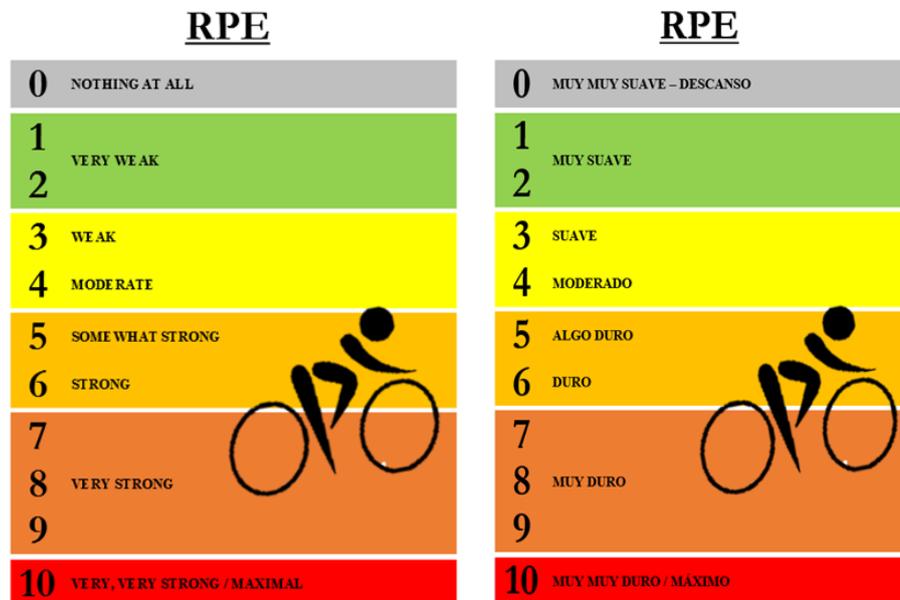


Figura 11. Percepción subjetiva del esfuerzo evaluada mediante la escala de Borg (RPE).

4.2.2.2 Variables bioquímicas

- *Lactacidemia.*

En este estudio, se tomaron muestras de sangre capilar (5 μ L) para el análisis de la concentración de lactato en sangre (mmol/L), obtenida por punción en el pulpejo del dedo en tres momentos de la prueba de contrarreloj con limitación temporal. La punción en el dedo se realizó con lanceta, con una limpieza previa de la zona con algodón seco, con el objetivo de no mezclar la muestra de sangre con sudor. Se analizó con un analizador Lactate Pro (Lactate Pro, Arkay, Inc., Kyoto, Japón).

Las mediciones se llevaron a cabo en cuatro momentos diferentes, coincidiendo dos de ellas con las mediciones de la escala de Borg, antes y después de la prueba de contrarreloj. Además, se tomaron dos muestras adicionales, una en condiciones basales, 15 min previos a la prueba de contrarreloj con limitación temporal y una muestra adicional a los 3 min de finalizar la prueba, con el objetivo de conocer la recuperación de los ciclistas tras la prueba.

- *Variables bioquímicas procedentes del ABL.*

Además del lactato en sangre se midieron otras variables bioquímicas mediante sangre capilar. Las muestras eran de 70 microlitros de sangre capilar arterIALIZADA, fueron recogidas mediante punción en el pulpejo del dedo y analizadas posteriormente mediante un analizador de gases en sangre (ABL90FLEX, Radiometer Medical APS, Copenhague, Dinamarca).

Se extrajeron muestras de sangre en estado basal (15 min previos a la prueba), al minuto de haber finalizado el calentamiento y con una recuperación activa, al finalizar la contrarreloj y después de los 3 min de recuperación.

Las variables que se tomaron fueron:

- Valores de gases en sangre: pH, pCO₂ (mmHg) y pO₂ (mmHg).
- Estado ácido – base: equilibrio ácido-base (EBA) (mmol/L), bicarbonato (HCO₃⁻) (mmol/L).
- Valores de electrolitos: gap aniónico (mmol/L).



Figura 12. Representación gráfica del desarrollo del estudio de la contrarreloj con limitación temporal.

4.2.3 Variables de la contrarreloj con limitación de distancia

4.2.3.1 Variables de rendimiento

Se llevó a cabo una contrarreloj basada en recorrer una distancia fija al aire libre, utilizando un segmento de escalada ascendente para cuantificar el rendimiento al principio y al final de la intervención. La bicicleta utilizada fue el modelo oficial de carretera utilizado para la competición del circuito mundial, la misma que utilizaron en la prueba anterior, y que está diseñada y ajustada a las características de cada corredor.

El segmento de escalada se realizó después de la contrarreloj llevada a cabo en condiciones de laboratorio y tras un descanso programado por parte de los ciclistas. Esta prueba fue una contrarreloj corta de montaña.

La zona escogida para la medición fue el Coll de Rates, la cual es una de las subidas de entrenamiento más populares entre los ciclistas profesionales en las concentraciones de entrenamiento de la zona de la Costa Blanca (Alicante, España). Todos los ciclistas ya estaban familiarizados con este segmento antes de comenzar el estudio, según confirmaron ellos mismos de antemano. Este segmento constaba de 4,5 km con un desnivel total de ~255 m y una pendiente del ~5%. Esta distancia quedó señalizada en el asfalto, para que todos los ciclistas tuvieran una señal visual del final del recorrido. Se seleccionó esta parte del Coll de Rates por sus características, que hacen que los ciclistas tengan que pedalear por encima de su umbral mínimo de potencia y, además, se minimiza los factores ambientales como puede ser el viento. También se recogieron las condiciones externas de la estación meteorológica más cercana (Pego, Alicante).

Los sujetos, antes de comenzar la prueba, realizaron un calentamiento precompetitivo de 10 min por la zona de la salida, con diferentes cambios de ritmo y estandarizado para todos los ciclistas del equipo. Posteriormente, tuvieron que realizar una recuperación pasiva de 2 min. En este tiempo se colocaban en la salida, se le tomaban las muestras necesarias y se hacía la cuenta atrás en los últimos 10 segundos. Esta cuenta atrás se realizó en voz alta y un técnico ayudó en la salida de los ciclistas. Los sujetos debían de realizar el recorrido establecido en el menor tiempo posible, a diferencia de la prueba anterior, en este caso la cadencia de pedaleo y la relación del desarrollo fue libre y por tanto los ciclistas lo podían regular en cada momento. Los datos en esta prueba se recogieron mediante el registro personal de cada uno de los ciclistas, mediante pedales de potencia (Garmin Vector 3, Garmin International, Kansas, E.E.U.U.) previamente instalados y calibrados, y también con un pulsómetro para el registro de la frecuencia cardiaca (HRM-Dual, Garmin International, Kansas, EE.UU.) de cada uno de ellos que posteriormente se proporcionó a los investigadores para el análisis de la prueba.

Las variables que se recogieron durante la prueba fueron las siguientes:

- Tiempo en el que realizaron la prueba (min).
- Tiempo acumulado por tramo (segundos).

- Tiempo de cada uno de los tramos (segundos).
- Potencia (pedales de potencia).
 - Potencia Relativa (W/kg)

Fue necesario tener en cuenta las características del puerto para poder determinar la velocidad aeróbica máxima o también conocida como la velocidad de ascensión media (VAM) del ciclista y así poder determinar la economía del mismo. Definida como la velocidad mínima requerida para alcanzar el máximo consumo de oxígeno.

Este valor fue el indicativo del ritmo medio de ascensión con el fin de dar una estimación bastante precisa de la potencia relativa empleada por el ciclista.

A pesar de que la VAM es útil a nivel de rendimiento, es muy importante conocer la potencia relativa del ciclista en vatios por kilo.

$$VAM = \frac{\text{desnivel medio acumulado (m)}}{\text{tiempo invertido (h)}}$$

$$\text{Potencia relativa (W/Kg)} = \frac{VAM \text{ (m/h)}}{\text{factor grado} * 100}$$

$$\text{Factor grado} = 2 + \frac{\text{pendiente media}}{10}$$

- Potencia Media (W).
- Potencia en cada uno de los tramos (W).
- Frecuencia cardiaca media (lat/min). Registrada durante toda la prueba mediante un pulsómetro (HRM-Dual, Garmin International, Kansas, EE.UU.).
- Frecuencia cardiaca en cada uno de los tramos (lat/min).
- Rastro por GPS, con el objetivo de poder determinar el desnivel acumulado (m).

Después de la prueba, los ciclistas siguieron pedaleando de forma suave durante 3 min más a carga constante (50 W) para favorecer la recuperación.

Los datos fueron tratados en un primer momento en una hoja de Excel. Al descargar los datos desde el ordenador individual de cada uno de los ciclistas se obtuvieron datos cada segundo. Debido a la complejidad de tratar la gran cantidad de valores y teniendo en cuenta que la variable independiente de esta prueba era la distancia recorrida se reagruparon los datos cada 100 m. De esta manera se obtuvieron un total de 46 tramos, siendo el tramo 0 el punto inicial (el comienzo de la prueba), y el tramo 46 el final de esta. Con el resto de los tramos (desde el tramo 1 al tramo 45) se calculó el promedio de cada uno de los 100 m. Este procedimiento se llevó a cabo con cada una de las variables de rendimiento analizadas en esta prueba.

Posteriormente, y con el objetivo de conocer en qué momento ocurre la mejora o el empeoramiento de los valores globales de las variables del rendimiento, se reagruparon en 9 segmentos, donde cada uno de ellos englobó un total de 500 m.

- Segmento 1: engloba desde el tramo 1 al tramo 5. Hasta los 500 m (inclusive).
- Segmento 2: engloba desde el tramo 6 al tramo 10. Este segmento engloba desde los 500 m hasta el primer km (inclusive).
- Segmento 3: desde el tramo 11 al tramo 15. Desde el primer km hasta el 1,5 km (inclusive).
- Segmento 4: del tramo 16 al tramo 20. Desde el 1,5 km hasta los 2 km (inclusive).
- Segmento 5: engloba desde el tramo 21 al tramo 25. Este segmento abarca desde los 2 km hasta los 2,5 km (inclusive).
- Segmento 6: desde el tramo 26 al tramo 30. Engloba desde los 2,5 km hasta los 3 km (inclusive).
- Segmento 7: del tramo 31 al tramo 35. Desde los 3 km hasta los 3,5 km (inclusive).
- Segmento 8: engloba desde el tramo 36 al tramo 40, por lo que se tiene en cuenta desde los 3,5 km hasta los 4 km (inclusive).
- Segmento 9: engloban los últimos tramos, desde el tramo 41 al tramo 45. Este último periodo engloba desde los 4 km hasta los 4,5 km.

- *Percepción subjetiva al esfuerzo (RPE). Escala de Borg.*

En esta contrarreloj también se tuvo en cuenta la RPE. Se realizó en tres momentos diferentes. La primera medición se llevó a cabo para conocer el punto de partida de los ciclistas antes de comenzar la prueba. En este momento se tomó en dos ocasiones, una primera escala justo al terminar el calentamiento, con el fin de saber que el esfuerzo que había realizado no había supuesto una fatiga al ciclista. Si el ciclista daba valores inferiores a 3 puntos de la escala comenzaba con los 2 min de recuperación pasiva, si daba valores por encima, se le pedía que siguiera realizando una recuperación activa por debajo de su umbral y se adelantaba el turno al siguiente ciclista. Esta medición no se tuvo en cuenta en el análisis, por lo que se tomó una segunda medición después del calentamiento precompetitivo, en los últimos 30 segundos de los 2 min de recuperación de pasiva. Al finalizar la contrarreloj se recogió de nuevo la escala.

4.2.3.2 Variables bioquímicas

- *Lactacidemia.*

Se midió de la misma forma que en la prueba anterior, mediante una punción en el pulpejo del dedo. La punción en el dedo se realizó con lanceta, con una limpieza previa de la zona con algodón seco, con el objetivo de no mezclar la muestra de sangre con sudor. Se analizó con un analizador Lactate Pro (Lactate Pro, Arkay, Inc., Kyoto, Japón).

En el punto de salida de la contrarreloj, el lactato se midió en dos ocasiones al finalizar el calentamiento precompetitivo, donde debía tener valores inferiores a 3 mmol/L. Si el ciclista tenía valores superiores debía de seguir realizando una recuperación activa con una carga inferior, si se encontraba dentro de los valores permitidos comenzaba con sus 2 min de recuperación pasiva (momento en el que debía de tomar posición). En los últimos 30 segundos antes de la salida se le tomaron de nuevo los valores de lactato en sangre, antes de comenzar la cuenta atrás (valores que se tuvieron en cuenta para el análisis).

En la meta de la contrarreloj se tomaron los valores de esta variable en dos momentos diferentes, una medición nada más llegar el ciclista y una segunda después de los 3 min de recuperación activa.



Figura 13. Representación gráfica del desarrollo del estudio de la contrarreloj con limitación de distancia.

4.2.4 Test de parestesia

La β -alanina aumenta las reservas de carnosina, lo que conlleva como efecto secundario más conocido la parestesia. Esta sintomatología es *una sensación o conjunto de sensaciones anormales de cosquilleo, hormigueo o picores* (Real Academia Española, 2001, 22^o ed.). Para conocer dichas sensaciones se les entregó un test a todos los sujetos (tanto al grupo experimental como al grupo control), que debían de rellenar en tres ocasiones: antes de ingerir el producto (tomado como basal), el segundo test después del primer día de consumo y el último lo tenían que rellenar después de la última dosis de consumo, es decir, en el momento en el que iban a realizar las pruebas finales. Estos síntomas subjetivos de parestesia fueron recogidos en el cuestionario de forma cuantitativa y cualitativa. La pregunta cuantitativa hacía referencia a la intensidad de las sensaciones y la pregunta cualitativa al tipo de sensación relacionada con los sentidos. Además, los sujetos tenían un espacio en blanco donde podían informar a los investigadores de cualquier sensación o cualquier efecto que hayan notado durante el consumo (Anexo 6).

La pregunta cuantitativa fue registrada mediante una escala visual analógica (EVA), dibujada con una línea continua de 10 centímetros donde el borde izquierdo determinaba “Ninguna sensación inusual”, traducida a 0 en el

registro de los datos; y en el borde derecho “Sensación más intensa”, traducida a 10. Los sujetos no tenían dicha escala enumerada, por lo que debían de marcar con una línea vertical la mayor intensidad percibida cruzando la línea horizontal dibujada en el cuestionario. Esta sensación la tenían que recoger dentro de las 4 horas desde la primera ingesta, o en el momento en el que notaban dicha sensación (si se producía después de estas 4 horas debían de indicarlo en el test). La pregunta cualitativa consistía en 6 palabras que representan la sintomatología de las parestesias al consumir β -alanina (pinchazos, picor, cosquilleo, entumecimiento, escalofrío y dolor), las cuales debían de redondear si las sentían. En el espacio en blanco, los sujetos debían de describir cualquier otra sensación no registrada anteriormente o evento adverso que asociasen con el consumo del producto durante el periodo de ingesta.

4.2.5 Composición corporal

Se llevó a cabo una bioimpedancia, sobre la base de las propiedades eléctricas de los tejidos biológicos, para evaluar las variaciones en la composición corporal de los individuos a lo largo del estudio. Dicha medición se llevó a cabo en las mismas condiciones y antes de realizar las pruebas físicas, al comienzo del estudio (visita basal) y al finalizar el mismo.

Para ello se utilizó el analizador de composición corporal BC-420MA TANITA (Tanita Corporation, Tokio, Japón). Previamente se debía de conocer la altura de los sujetos (la cual fue medida en la visita basal mediante el medidor Seca 700, GmbH, Hamburgo, Alemania) y su fecha de nacimiento.

Los datos que fueron analizados son: peso (Kg), masa grasa (Kg), porcentaje de masa grasa (%), masa magra (Kg) y la masa muscular (Kg).

4.2.6 Control dietético

El nutricionista deportivo del equipo al que pertenecían los sujetos del estudio diseñó una hoja de información (con el conocimiento de esta por parte de los investigadores), con el objetivo de que todos los sujetos siguieran las mismas pautas en función del entrenamiento de cada día. Esta información contenía los diferentes menús que debían de ingerir para cada una de las 5 comidas del día,

detallando los alimentos que podían tomar e información cualitativa sobre la composición de las comidas. Durante la semana de desarrollo del estudio los sujetos se encontraban en una concentración de entrenamiento, por lo que todos comieron en las instalaciones del hotel donde se encontraban, y además bajo la supervisión del nutricionista del equipo (Anexo 7).

Además, después de los entrenamientos largos se les indicó que no podían tomar ningún tentempié y debían de evitar los alimentos con altas cantidades de carbohidratos y azúcares simples durante los días de recuperación.

Las 24 horas antes de cada medición (visita 1 y visita 2) debían de reproducir las mismas ingestas, tanto en alimentos como en composición (siempre que así fuese posible).

4.2.7 Plan de entrenamiento y cuantificación de la carga de entrenamiento

Todos los sujetos del estudio realizaron el mismo plan de entrenamiento durante la semana de duración del estudio. Con el fin de conocer la carga de entrenamiento de cada uno de los ciclistas, los entrenamientos fueron registrados por cada uno de los sujetos a través de su ciclocomputador (Garmin Edge 530, Garmin International, Olathe, KS, EE.UU.). Dos días, concretamente el tercero y el séptimo (día previo a la última medición) se llevó a cabo entrenamientos regenerativos con una intensidad baja. El resto de los días llevaron a cabo una o dos rutas al aire libre por la zona de Calpe (Alicante, España). Todos los sujetos realizaron el entrenamiento en un mismo grupo, y en las mismas franjas horarias, con el objetivo de homogeneizar las condiciones ambientales.

Los datos de potencia se registraron a través de los pedales de potencia izquierdo y derecho (Garmin Vector 3, Garmin International, Olathe, KS, EE.UU.) que fueron previamente instalados y calibrados por un mecánico especializado.

Para conocer la carga de entrenamiento de cada uno de los sujetos, se tuvo en cuenta la media diaria de cada una de las variables que se detallan más adelante y posteriormente la media de cada uno de los grupos de consumo. Los datos brutos extraídos del ciclocomputador de la bicicleta se introdujeron en el software de ciclismo (software de entrenamiento Golden Cheetah, versión 3.5, disponible en www.goldencheetah.org, consultado el 23 de marzo de 2020) que realizó los cálculos basados en la potencia crítica de cada sujeto.

Las variables utilizadas para el control de la carga de entrenamiento son:

- Duración de cada uno de los entrenamientos (horas).
- Distancia que se recorrió en dichos entrenamientos (km).
- Trabajo total ejercido por los ciclistas (kJ).
- Potencia promedio (W).
- Potencia normalizada (W).
- Umbral de potencia funcional.
- Intensidad relativa (UA).
- BikeScore (UA).

A continuación, se definen las últimas variables:

Potencia crítica: se define como la pendiente de la función trabajo – tiempo. Es una característica inherente al sistema energético aeróbico, y como tal representa la potencia que puede mantenerse durante mucho tiempo sin fatigarse.

Potencia normalizada: es un valor que se obtiene aplicando un promedio móvil al registro de datos de potencia de un entrenamiento. Es decir, no tiene en cuenta los picos de potencia (tanto por encima como por debajo). Es una estimación de la potencia que se podría haber mantenido, a cambio del mismo aporte fisiológico, si la potencia hubiera sido totalmente constante [58].

Umbral de potencia funcional: también conocido como FTP de las siglas en inglés Functional Threshold Power. Hace referencia a la potencia máxima que un ciclista puede mantener de forma prácticamente constante, sin fatigarse, durante aproximadamente una hora. Cuando la potencia supera el FTP, la fatiga aparece de forma mucho más rápida, mientras que justo por debajo del FTP puede mantenerse mucho más tiempo pedaleando [272].

Intensidad relativa: o factor de intensidad, es un indicador que permite medir cómo de intenso ha sido el entrenamiento en relación al propio umbral. Es decir, el cociente entre la potencia normalizada y el umbral de potencia funcional del ciclista [57].

Bike Score (BK): relación entre el trabajo realizado en potencia normalizada, escalado por la intensidad relativa al cuadrado, en relación con la potencia crítica.

La cuantificación basada en la potencia se realizó según el modelo de puntuación de Skibba [273–275], donde se decidió emplear este método en lugar

de la FTP debido a una correlación más estrecha con la potencia crítica [276] tanto en magnitud como en relación con el umbral ventilatorio 2 [272,277].

4.2.8 Control de la ingesta del producto

Con el objetivo de conocer si realmente los sujetos estuvieron cegados, al finalizar la última prueba de medición, se preguntó a los sujetos sobre las creencias acerca del producto que habían estado consumiendo.

4.2.9 Seguridad

En la visita final se realizó un registro y evaluación de los acontecimientos adversos acaecidos. Cualquier tipo de acontecimiento adverso fue recogido cuando el sujeto lo comunicó, espontáneamente o por indicación del equipo de investigación, y fue descrito en el registro correspondiente de cada sujeto para documentar la tolerabilidad del producto.

Estos registros contenían información sobre la naturaleza, severidad, tiempo de inicio y tiempo de duración de las reacciones adversas, las acciones tomadas para revertirlas y la probabilidad de que guarden relación con los productos del ensayo, además de cualquier otra cuestión que se estimara oportuna. La notificación completa y oportuna de todos los acontecimientos adversos que se presentaron en relación con el consumo del producto en estudio servirá al promotor para identificar aquellas reacciones que pudieran estar posiblemente relacionadas con el compuesto.

Además, los sujetos podían apuntar en el registro de parestesia si sentían algún acontecimiento durante la semana de consumo.

4.3 DESARROLLO DEL ESTUDIO

La muestra empleada en el estudio fue con ciclistas de élite, por lo que el reclutamiento no se hizo directamente entre investigador – sujeto a estudio, sino que lo realizó el equipo técnico del club. Al igual que en cualquier otro ensayo clínico se llevó a cabo una primera visita, considerada la visita de reclutamiento y

posteriormente, las dos visitas de toma de mediciones, las cuales estaban separadas por una semana. Por lo que, en total, se realizaron 3 visitas.

Todas las visitas tuvieron lugar en el mismo lugar y con las mismas condiciones ambientales, con el objetivo de poder comparar ambas pruebas y no tener sesgos en los resultados. La primera prueba realizada en condiciones de laboratorio se llevó a cabo en una de las salas habilitadas por el hotel en el que se encontraba el equipo realizando la concentración de entrenamientos intensiva. Dicho hotel se encontraba en Calpe (Alicante). Posterior a esta prueba, y tras un periodo de descanso programado, los ciclistas realizaron una subida al puerto del Coll de Rates.

4.3.1 Reclutamiento

En la primera visita (15 días antes del comienzo) se llevó a cabo el reclutamiento de los sujetos, donde se les informó a los responsables del club de las características del estudio, de los beneficios y los inconvenientes que los ciclistas podrían sufrir por participar en el estudio de investigación. Esta información se les dio de forma oral y también por escrito. Fue el equipo técnico quién informó en primer lugar y de forma individualizada a cada uno de los ciclistas, mostrándoles el objetivo y el desarrollo del estudio.

Con ayuda del equipo técnico, en esta primera visita se seleccionaron los ciclistas que cumplían con las características propias del estudio, cumpliendo con todos los criterios de inclusión y ninguno de exclusión.

Cada individuo fue informado de las características del producto, así como de los posibles efectos adversos indeseables que podría provocar su consumo. Además, se les informó del carácter voluntario del estudio, tanto para su participación como para su abandono.

Después de informar a los ciclistas de forma oral se les entregó la hoja de información del estudio y se les dejó tiempo suficiente como para comprender las implicaciones de dicho estudio. Además, se les dio libertad de poder realizar todas las preguntas que estimasen oportunas. En el momento en el que los sujetos aceptaron participar en el estudio firmaron el consentimiento informado.

Los sujetos fueron examinados y entrevistados previamente al comienzo del estudio para recoger los siguientes datos:

- Datos personales y demográficos.
- Anamnesis detallada, incluyendo datos sobre sus hábitos de vida, o alguna característica importante a tener en cuenta en relación a lesiones, enfermedades, etc.

Tras esta primera fase de reclutamiento, los sujetos que cumplían todos los criterios de inclusión y ninguno de exclusión fueron asignados aleatoriamente a uno de los grupos (ingesta del producto experimental o del producto placebo).

4.3.2 Fase experimental

Antes de comenzar el estudio los sujetos llevaron a cabo un test incremental máximo, con el objetivo de conocer el nivel de entrenamiento de los sujetos y determinar la potencia crítica de cada ciclista. Esta prueba de esfuerzo fue realizada a los ciclistas por el médico del equipo que pertenece al grupo de investigación del estudio. De esta manera se pudieron tener datos objetivos con los que cuantificar la semana de entrenamiento de suplementación de forma individualizada, y que la carga de entrenamiento no repercutiese en el estudio. Para llevar a cabo la prueba los sujetos utilizaron la misma bicicleta y el mismo ergómetro que en las pruebas del estudio, y las medidas de reproducibilidad fueron las mismas que en el estudio de Torregrosa et al. [278], excepto por algunos cambios que se comentan a continuación: 1) la bicicleta se fijó al ergómetro sin ninguna de las dos ruedas y la altura frontal se mantuvo constante; 2) la configuración de la bicicleta fue la misma para todos, ya que utilizaron el modelo de bicicleta propio del equipo; 3) se utilizaron las mismas zapatillas de ciclismo de carretera. Los participantes tuvieron que pedalear hasta el agotamiento en un test que comenzaba con un calentamiento de 4 min a 100 W y donde seguidamente comenzaban escalones, con incrementos de 5 W cada 12 segundos. La cadencia la podían regular los sujetos, aunque siempre debían de encontrarse en una horquilla de entre 90-120 revoluciones por minuto (rpm). En el momento en el que los sujetos no podían mantener dicha cadencia, se consideró el final de la prueba. También se consideró el final de la prueba, en el momento en el que el sujeto decidía parar o el médico deportivo determinaba necesario la finalización de esta. Durante la prueba, los sujetos fueron animados verbalmente por el personal a realizar el máximo esfuerzo. La FC se controló mediante un

electrocardiógrafo, y el consumo de oxígeno (VO_2) se recogió de forma continua mediante un analizador de gases (Jaeger Oxyconm Pro™, Care-Fusion, Hchberg, Alemania). Todas las medidas se analizaron mediante un software (LABManager 5.3.0.4, VIASYS Healthcare GmbH, Hchberg, Alemania) y se almacenaron en un ordenador. El VT2 se estableció como el punto de intersección entre el equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO_2) y el equivalente ventilatorio de oxígeno (VE/VO_2) frente al tiempo, definido como el punto en el que la ventilación pulmonar durante el ejercicio (VE) comienza a aumentar a un ritmo más rápido que la captación de oxígeno (VO_2). La potencia en el umbral ventilatorio 2 (WVT2) se adoptó como potencia crítica individual (CP). El resto de las variables se emplearon para determinar el estado de entrenamiento de la muestra expresado como consumo aeróbico máximo relativo ($VO_{2máx}$).

En las siguientes dos visitas, los ciclistas realizaron las dos pruebas de estudio. La primera prueba, contrarreloj con limitación temporal, llevada a cabo en el hotel de la concentración del equipo ciclista, con todos los parámetros controlados y considerada como condiciones de laboratorio. En esta prueba la variable independiente era el tiempo y la variable dependiente principal, los km recorridos en dicho tiempo. La segunda prueba, contrarreloj con limitación de distancia, se llevó a cabo en una situación real donde la distancia se convirtió en la variable independiente y el tiempo se convirtió en la variable dependiente principal.

Visita 1 y 2. Contrarreloj con limitación temporal

En ambas visitas se llevó a cabo el mismo procedimiento y las mismas mediciones. La única diferencia que hubo entre ambas es que los sujetos en la primera visita no habían consumido la suplementación de β -alanina, y en la segunda visita lo realizaron con la acumulación de las 31 dosis consumidas durante los 7 días de estudio.

Los sujetos realizaron las pruebas por turnos de dos ciclistas (ya que se contaban con dos Cyclus), con una diferencia de media hora entre cada pareja, y siguiendo siempre el mismo orden (Anexo 8). Como se estableció en los criterios de retirada, los sujetos debían de partir de las mismas condiciones de entrenamiento y descanso en los días previos a la visita 1 y debían tener la misma

carga de entrenamiento en la semana de consumo, cumpliendo también con dicha normativa para la visita 2.

En el momento en el que entraban en la sala los sujetos fueron tallados y pesados y se les recogieron las primeras mediciones consideradas basales. Estas mediciones fueron las variables bioquímicas y RPE. Posteriormente todos los sujetos realizaron un mismo calentamiento precompetitivo estandarizado, que consistía en pedalear en el cicloergómetro durante 10 min, donde el desarrollo de la bicicleta permaneció fijo, y solo podían cambiarlo en la pantalla de forma virtual mediante el panel de control del ergómetro.

Tras el calentamiento, se les dejó 2 min de recuperación activa, volviendo a tomar al minuto las mismas mediciones que en condiciones basales. Tras los 2 min de descanso se consideró el inicio de la contrarreloj con limitación temporal. Los 10 min de prueba comenzaron en el momento en el que el ciclista alcanzó los 40W, con el objetivo de reducir al mínimo la posibilidad de repetir el inicio de la prueba debido a un reajuste del ciclista y preparación para realizar la prueba. En esta prueba debían de pedalear a la máxima intensidad posible, donde el objetivo era realizar la mayor distancia posible. Nada más finalizar la prueba se tomaron de nuevo las mediciones bioquímicas y RPE y tras finalizar los 3 min de recuperación pasiva también, excepto la RPE. Todos los datos se fueron recogiendo en la hoja de registro de cada uno de los sujetos (Anexo 9).

Visita 1 y 2. Contrarreloj con limitación de distancia

Esta medición se realizó en el mismo día, y tras la realización de la prueba anteriormente comentada, con un descanso de los ciclistas entre una prueba y otra.

Los sujetos realizaron la segunda contrarreloj simulando una contrarreloj de corta duración, con un desnivel inicial de ~255 m y con una pendiente del puerto del ~5%. En esta contrarreloj se establecieron los puntos de inicio y fin, es decir, la variable independiente de la prueba fue la distancia a recorrer, que se estableció en 4,5 km. Los ciclistas debían de recorrer dicha distancia en el menor tiempo posible. Antes de comenzar se tomaron los valores de lactato y RPE, que debían de partir de valores basales (RPE y lactato inferior a 3 puntos, muy descansado y 3 mmol/L, respectivamente). Estas variables se tomaron también cuando llegaron al final de la prueba, y tras 3 min de descanso, se tomó de nuevo el lactato. Para

poder recoger estas variables el grupo de investigadores se dividió en dos, un grupo en la salida de la prueba y el otro en la llegada. En ambos sitios se recogían las variables indicadas (Anexo 10).

El inicio de la prueba, los sujetos salieron con un decalaje de 3 min, para que no se hiciera la espera muy larga para el resto de los ciclistas y también para dar margen en la llegada para realizar las mediciones y recoger los valores y datos necesarios.

Cuando completaron las mediciones, se le entregó el producto asignado a cada sujeto, se les explicó el procedimiento de ingesta y se les entregaron los test de parestesia que debían de rellenar durante el consumo y entregar el día de la visita 2.

En la visita 2 se recopilaban las mismas variables y se siguió el mismo procedimiento, con el objetivo de poder determinar y asociar los cambios entre las pruebas a la suplementación consumida. En esta visita se recogieron los botes de producto y los test de parestesia rellenos.

En ambas visitas se registraron las condiciones meteorológicas con el fin de poder determinar si algún cambio podría ser debido a dichas condiciones.

Tabla 6. Cronograma del desarrollo del estudio

Seguimiento	Reclutamiento	V1	Diario	V2
Historia clínica	X			
Criterios de inclusión/exclusión	X			
Consentimiento informado	X			
Aleatorización	X			
Entrega del producto		X		
Recogida del producto				X
Contrarreloj limitación temporal		X		X
Contrarreloj limitación distancia		X		X
RPE		X		X
Variables bioquímicas		X		X
Parestesia		X		X
Composición corporal		X		X
Control dietético		X	X	X
Cuantificación entrenamiento		X	X	X
Acontecimientos adversos			X	X

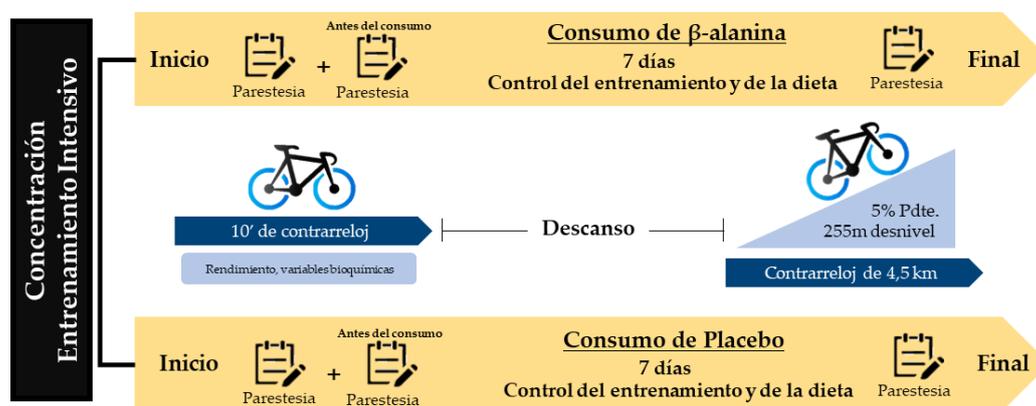


Figura 14. Desarrollo del estudio teniendo en cuenta las dos contrarrelojes.

4.4 ASPECTOS ÉTICOS

El estudio se realizó de acuerdo con las normas internacionales sobre ensayos clínicos:

- Declaración de Helsinki (última versión registrada, 2013).
- Buenas prácticas clínicas.

Se mantuvo en todo momento los niveles más altos de conducta profesional y confidencialidad de todos los datos recogidos concernientes al estudio. Se cumplió con la legislación nacional vigente sobre protección de datos de carácter personal (Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales y Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos). De acuerdo con lo que establece la legislación mencionada, el participante pudo ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual únicamente debió dirigirse al investigador del estudio.

El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia (UCAM) con el código CE012004 (Anexo 11). Además, se encuentra registrado en la plataforma sobre ensayos clínicos clinicaltrials.gov con el número de identificación NCT04427319.

Sólo en situaciones puntuales se realizaron desviaciones del protocolo sin la aprobación del Comité de Ética. Estas desviaciones no pusieron en peligro la situación de los sujetos, ni afectaron negativamente a sus derechos o a la validez de la investigación ya que fueron cambios relacionados con aspectos administrativos del estudio.

La identidad de los sujetos se codificó en los documentos del estudio y sólo personal debidamente autorizado tuvo acceso a los datos personales identificables en momentos donde los procedimientos de verificación de datos exigían la inspección de dicha información. Es por ello por lo que los investigadores garantizaron el anonimato de los sujetos inscritos en el estudio.

Todos los datos consignados en los CRD fueron tratados de forma confidencial y siempre con el código del sujeto, al igual que en los resultados del

estudio y en las publicaciones derivadas del mismo, donde no aparecerán nunca sus datos personales.

El investigador guarda un documento con la correspondencia entre códigos y nombres. El investigador principal mantiene bajo estricta confidencialidad los documentos.

Los CRD se completaron cuidadosamente. Las correcciones o supresiones de datos se anotaron junto a la línea corregida para que los datos originales sigan siendo legibles. Las modificaciones fueron firmadas y fechadas por el investigador que realizó los cambios.

Solamente el personal asignado para el estudio ha tenido acceso a los datos confidenciales de los participantes. Además, se concedió acceso a los datos al estadístico encargado del análisis estadístico y a la empresa del estudio, manteniendo el anonimato de los pacientes.

Las historias clínicas, así como todos los documentos pertenecientes al estudio son conservados en el archivo del estudio por el investigador, guardados bajo llave durante el periodo de tiempo establecido por la normativa. En caso de tener que realizar algún traslado o eliminación, se registrará.

4.4.1 Hoja de información y consentimiento informado de los sujetos

Cada paciente fue informado de las características del estudio oralmente y por escrito mediante la hoja de información (Anexo 12) y el consentimiento informado (Anexo 13). Debido a las diferentes nacionales de los ciclistas que participaron en el estudio toda la información a los sujetos, documentos a entregar y el trato a los mismos en las pruebas se realizó en inglés o en español. Esta hoja de información incluía información sobre los aspectos más relevantes del ensayo clínico:

- Derechos de la persona que participa en el estudio
- Objetivo del estudio
- Aspectos metodológicos
- Tratamientos a administrar
- Inconvenientes y riesgos derivados del estudio
- Posibles acontecimientos adversos
- Acceso a los datos y confidencialidad

- Compensación económica y política de seguros
- Investigadores

Una vez que el paciente fue plenamente informado de las implicaciones y restricciones del protocolo, tuvo que firmar el documento de consentimiento informado junto con el investigador principal, antes de ser inscrito en el estudio. Con esta firma el paciente declaraba su participación voluntaria y libre, y su intención de cumplir con el protocolo y seguir las instrucciones del investigador.

El sujeto conservó el documento de consentimiento informado y la hoja de información durante el estudio, con toda la información pertinente, incluyendo los datos de contacto del investigador con el que se podía poner en contacto durante el desarrollo del estudio. El investigador principal conserva los documentos de consentimiento informado firmado en el archivo del investigador.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se nombró un técnico de apoyo a la investigación cuya principal función fue asegurarse de que el estudio se realizará conforme a lo exigido en el protocolo. Revisó el registro de datos individualmente y se comprobó que todos los datos se hayan recogido correctamente.

Los datos de todos los sujetos fueron introducidos en una base de datos creada a tal fin y dotada de márgenes de seguridad y normas de coherencia interna, tras lo cual se repasaron los casos que presentaron valores anómalos o incoherentes. Los datos de identificación de cada participante no se incorporaron a la base de datos en la que se recojan las variables objeto de estudio. Al finalizar el estudio se procedió a su análisis estadístico.

4.5.1 Metodología estadística

El análisis de los datos se realizó por protocolo, es decir teniendo en cuenta únicamente los sujetos que completaron el plan de consumo y que siguieron correctamente todos los criterios establecidos en el ensayo.

De todas las variables del estudio se realizó un análisis descriptivo (media y desviación estándar) de las condiciones basales y de la evolución de las mismas tras los 7 días de consumo.

También fue analizada la homogeneidad de las variables que pueden modificar la evolución de aquellas que evalúan la eficacia en el momento inicial. El objetivo de ello ha sido poder establecer que todas las variables parten desde el mismo punto, y que por tanto las modificaciones en la evolución se asociarían a una mejoría por parte del consumo de producto. Las variables cualitativas fueron analizadas mediante test de homogeneidad basados en la distribución Chi-cuadrado cuando los valores esperados lo hicieron posible y mediante test exactos de Fisher en caso contrario. Se comprobó la normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Para las variables cuantitativas se desarrollaron comparaciones de t-Student entre las dos ramas del estudio.

Para analizar las diferencias entre los grupos (grupo experimental y grupo control) en la evolución de las distintas variables, se realizó un análisis de varianza (MANOVA) para medidas repetidas, con un factor intersujeto (producto: producto experimental y producto placebo) y uno o dos factores intrasujeto según la variable en estudio (prueba: antes del consumo de producto y posterior al consumo del producto; tiempo: basal y final o basal, preprueba, postprueba y post 3 min) para poder determinar las modificaciones producidas tras el consumo en cada una de las variables. De esta manera se establecieron diferencias en cada una de las variables analizadas, atendiendo a estos dos factores. Para llevar a cabo el análisis post-hoc se realizó el test de Bonferroni.

Se realizaron las comparaciones para aquellos efectos significativos con la opción de asumir o no igualdad de varianzas.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software SPSS (versión 25.0, Chicago, IL, EE.UU.) y el nivel de significación utilizado fue de 0.05.

4.5.2 Tamaño muestral

El tamaño de la muestra se calculó en función de la potencia media durante una prueba de contrarreloj máxima de 10 min. Considerando una desviación estándar de la potencia media de 30,4 W [25], para una precisión de 35 W con un

riesgo alfa del 5% y una potencia estadística del 80%, se necesitaron 9 sujetos en cada grupo, aumentando a 10 sujetos por grupo asumiendo una pérdida de seguimiento del 10%. El tamaño de la muestra se determinó en función de la disponibilidad del horario profesional de los ciclistas.

V - RESULTADOS

V - RESULTADOS

5.1 DIAGRAMA DE FLUJO

Iniciaron el estudio 20 sujetos. Sin embargo, 7 de ellos tuvieron que ser excluidos del estudio por motivos de incumplimiento de los criterios de selección, ya que no podían realizar las pruebas correctamente. Los 13 sujetos seleccionados fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos, 7 en el grupo experimental y 6 en el grupo placebo. Durante la fase experimental un sujeto del grupo experimental tuvo que ser excluido del estudio ya que el día de la segunda medición tuvo que viajar a otra concentración, por lo que afectó a su carga de entrenamiento y no pudo realizar correctamente la visita (Figura 15).

Finalizaron el estudio 6 sujetos en cada grupo (experimental y placebo). Sin embargo, al realizar el análisis estadístico se tuvo que excluir un sujeto del grupo experimental, ya que al ver los resultados y hablar con el equipo técnico, el sujeto no consumió correctamente el producto.

Todos los sujetos que fueron incluidos en el análisis de los datos consumieron uno de los productos en investigación, o la mezcla de polvo de β -alanina o el placebo compuesto por sémola de trigo, a las dosis indicadas sin diferencias significativas en el control de cumplimiento.

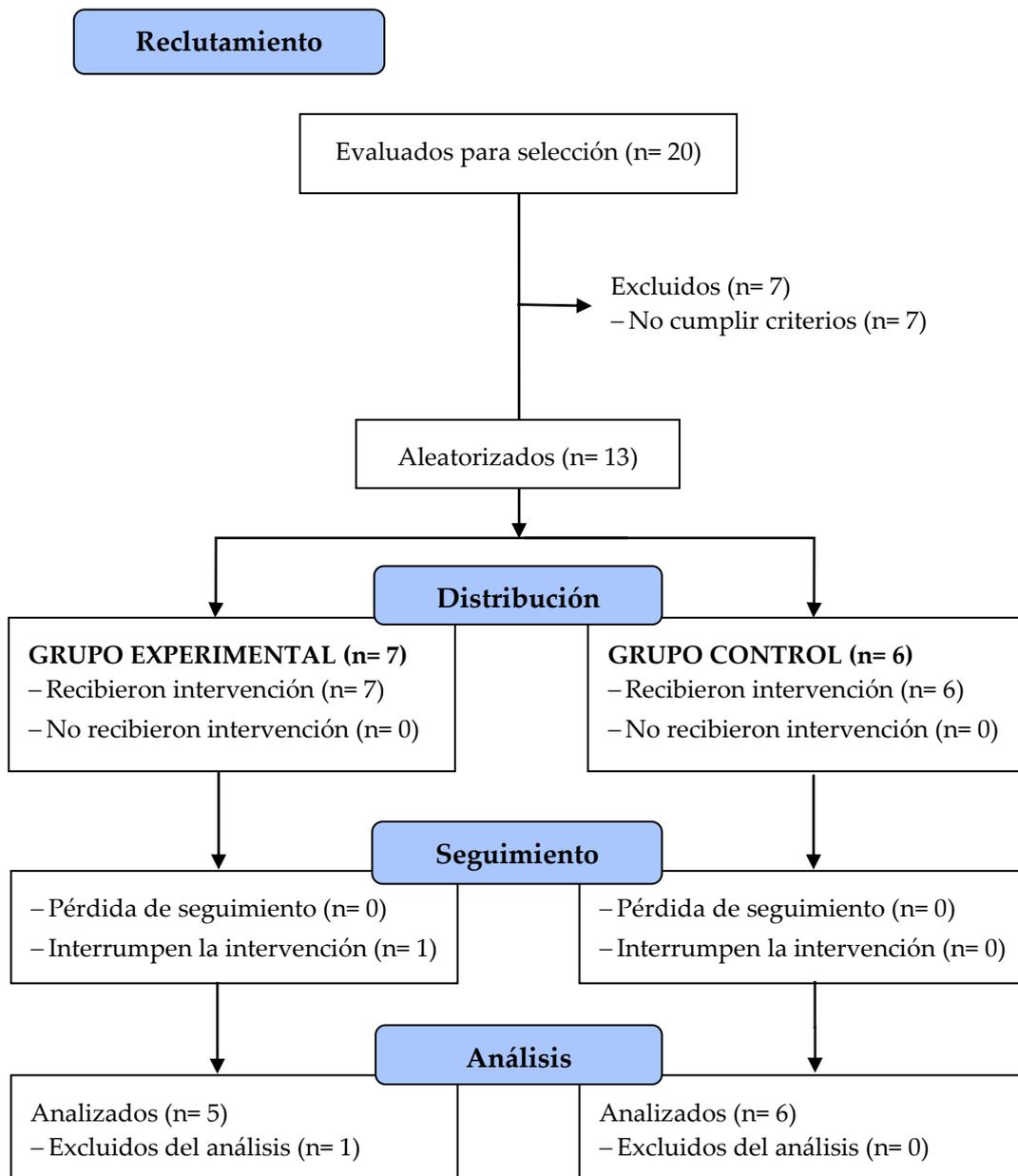


Figura 15. Diagrama de flujo.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DE LOS SUJETOS

Los 11 participantes masculinos válidos para llevar a cabo el análisis estadístico tenían una media de $25,5 \pm 2,8$ años, siendo la media de los sujetos con consumo de producto experimental de $25,6 \pm 2,4$ años y los sujetos del grupo placebo, $25,3 \pm 3,3$ años. En cuanto a la altura de los sujetos, tenían una media de $180,6 \pm 3,4$ cm en el grupo de consumo de β -alanina y de $179,5 \pm 7,9$ cm en el grupo de consumo de placebo. En relación con el peso corporal los sujetos partían también de valores homogéneos, teniendo una media de $67,9 \pm 5,8$ kg. El grupo experimental comenzó con valores de $68,7 \pm 3,3$ kg y el grupo placebo con $67,2 \pm 7,5$ kg.

Todos los sujetos pertenecían al mismo equipo de ciclismo, de nivel mundial, donde el consumo máximo de oxígeno de los sujetos tenía una media de $69,0 \pm 4,6$ mL/kg/min, siendo homogéneo en el inicio en los dos grupos. En la siguiente tabla se encuentran los datos de las características de rendimiento de los sujetos (Tabla 7).

Tabla 7. Condición física de los ciclistas profesionales de carretera que participaron en el estudio y que fueron obtenidas a partir de la prueba de esfuerzo. Los valores se presentan como media y desviación estándar.

	β-alanina	Placebo	Total
VO_{2max} (mL/min)	4714,6 \pm 163,1	4541,0 \pm 390,1	4619,9 \pm 308,1
VO_{2max/kg} (mL/kg/min)	69,5 \pm 2,6	68,6 \pm 6,0	69,0 \pm 4,6
Potencia máxima (W)	444,8 \pm 19,0	436,2 \pm 25,6	440,1 \pm 22,2
FC máxima (lat/min)	187,8 \pm 5,0	191,7 \pm 8,1	189,9 \pm 6,8
Potencia (W)	252,6 \pm 36,2	265,5 \pm 31,3	259,6 \pm 32,6
Potencia relativa(W/kg)	3,7 \pm 0,6	4,0 \pm 0,6	3,9 \pm 0,6
FC (lat/min)	140,6 \pm 14,3	149,7 \pm 13,9	145,6 \pm 14,2
VT1			
VO_{2max} (mL/min)	3244,8 \pm 266,1	3228,7 \pm 144,1	3236,0 \pm 196,9
VO_{2max/kg} (mL/kg/min)	68,8 \pm 5,4	71,6 \pm 7,1	70,3 \pm 6,2
RER	0,87 \pm 0,03	0,93 \pm 0,04	0,90 \pm 0,05

Continuación Tabla 7.

	β -alanina	Placebo	Total
Potencia (W)	350,2 \pm 10,3	358,8 \pm 15,1	354,9 \pm 13,3
Potencia relativa(W/kg)	5,2 \pm 0,2	5,4 \pm 0,6	5,3 \pm 0,4
FC (lat/min)	167,2 \pm 3,8	175,5 \pm 12,1	171,7 \pm 9,9
VT2			
VO_{2max} (mL/min)	4155,0 \pm 177,6	4077,7 \pm 243,7	4112,8 \pm 209,6
VO_{2max/kg} (mL/kg/min)	88,1 \pm 1,7	90,0 \pm 3,4	89,1 \pm 2,8
RER	1,01 \pm 0,03	1,03 \pm 0,04	1,02 \pm 0,04

Abreviaturas: VO_{2max}= Consumo máximo de oxígeno absoluto; VO_{2max/kg}= Consumo máximo de oxígeno relativo; FC= Frecuencia Cardíaca; RER= cociente respiratorio; VT1= umbral aeróbico; VT2= umbral anaeróbico.

Teniendo en cuenta las características de los sujetos se puede determinar que todos los sujetos pertenecen a un equipo ciclista de alto rendimiento y por tanto con las condiciones idóneas para realizar las pruebas detalladas y explicadas en el presente estudio. Además, ambos grupos parten de valores homogéneos para cada una de las variables determinadas en la tabla anterior, por lo que parten de los mismos niveles de rendimiento.

5.3 CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN TEMPORAL

5.3.1 Variables de rendimiento

5.3.1.1 Potencia media

Para la potencia media de los ciclistas, observamos que el grupo control parte de valores medios de 391,6 \pm 32,1 W y el grupo experimental de valores de 377,2 \pm 27,5 W.

El grupo control finaliza el estudio, después de 7 días de ingesta, con valores de 367,3 \pm 15,3 W. El grupo experimental consigue alcanzar valores más elevados tras el consumo, siendo éstos de 390,1 \pm 28,1 W.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 8. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia media en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Potencia media (W)	β-alanina	377,2 ± 27,5	390,1 ± 28,1	0,305	0,046
	Placebo	391,6 ± 32,1	367,3 ± 15,3	0,050	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Ambos grupos son homogéneos ya que parten de valores similares en el instante inicial del estudio ($p=0,449$)
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Tras el consumo de producto el grupo con consumo de placebo disminuyó su potencia en la realización de la prueba, siendo estas modificaciones significativas ($p<0,050$).
 - Grupo experimental. No se aprecian diferencias significativas ($p=0,305$) en la evolución de esta variable tras el consumo de este producto. A pesar de esto, se observa una tendencia al aumento de potencia con el consumo de β-alanina.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar el grupo placebo y el grupo experimental, se pueden observar diferencias significativas al comparar la evolución de ambos grupos ($p<0,046$). La potencia media del grupo placebo empeora en un 6,21%, mientras que en el grupo experimental las diferencias son del 3,42%.

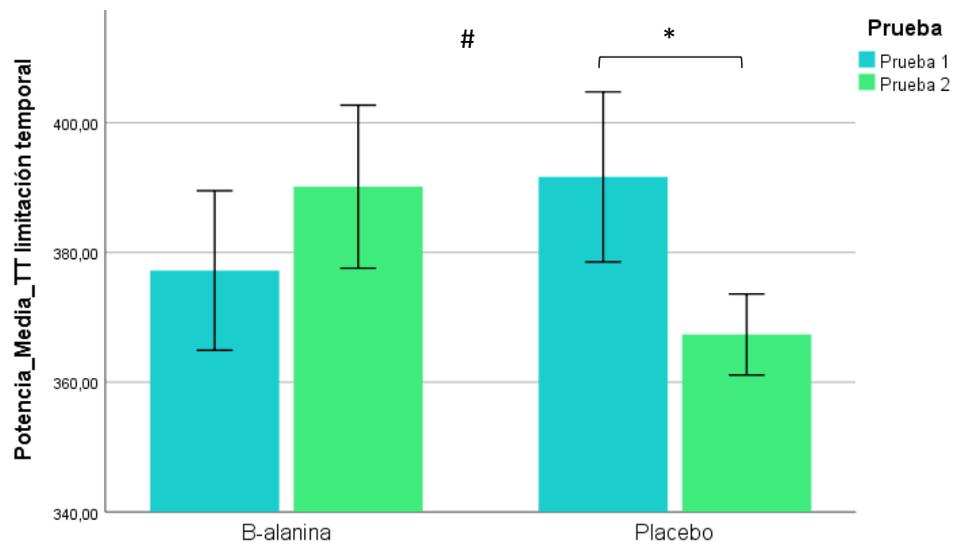


Figura 16. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la potencia media en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.1.2 Distancia recorrida

La distancia recorrida por los sujetos del grupo control se inicia con valores medios de $7379,5 \pm 216,6$ m y finaliza con valores inferiores, recorriendo $7211,3 \pm 107,0$ m.

Con respecto al grupo experimental, los valores de inicio son $7276,2 \pm 193,9$ m. Después del consumo y acumulación de los 155 g de β -alanina, finaliza con valores medios de $7367,6 \pm 189,6$ m.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la distancia recorrida en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Distancia recorrida (m)	β-alanina	7276,2 ± 193,9	7367,6 ± 189,6	0,299	0,046
	Placebo	7379,5 ± 216,6	7211,3 ± 107,0	0,050	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se aprecian diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el instante inicial ($p=0,431$), por lo que ambos grupos parten de valores homogéneos para esta variable.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. La evolución de los sujetos que han consumido el producto placebo ofrece diferencias significativas ($p<0,050$) en los valores de esta variable. Esto determina que este grupo empeora los valores durante el proceso de ingesta. Estas diferencias son debidas a un empeoramiento de la distancia del 2,28%.
 - Grupo experimental. No se observan diferencias significativas ($p=0,299$) en la evolución de esta variable. Por lo que no presentan ninguna modificación en sus niveles. El grupo mejora para esta variable en un 1,26%.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de ambos grupos, se observan diferencias significativas ($p<0,046$), por lo que el grupo que ha consumido producto experimental mejora en mayor medida el valor de esta variable. La diferencia entre ambos grupos es del 3,54%.

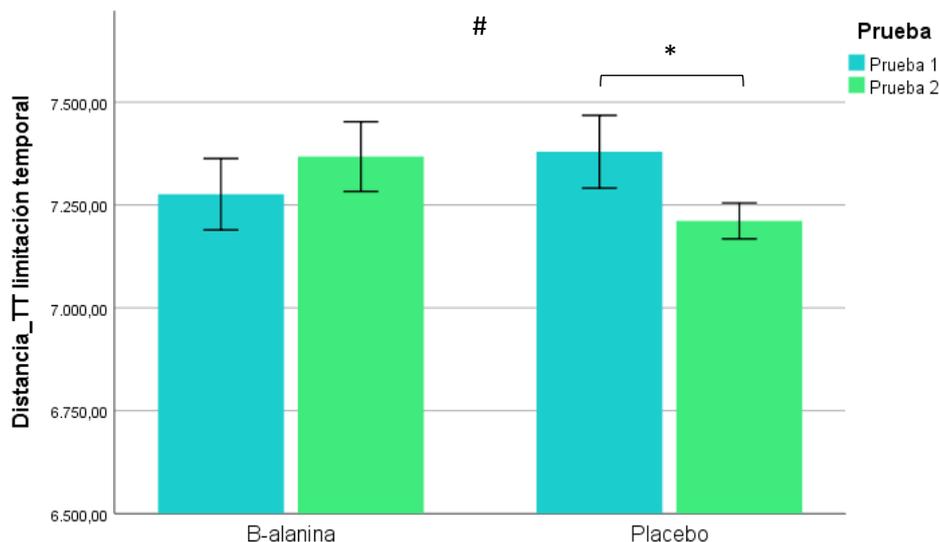


Figura 17. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la distancia recorrida en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.1.3 Trabajo total

Los sujetos que pertenecían al grupo experimental comenzaron el estudio con un valor medio de $226,2 \pm 16,7$ J y finaliza con valores superiores, con una media de $234,0 \pm 17,1$ J.

Con respecto al grupo control, comenzó con una media de $235,0 \pm 19,3$ J, y finalizó el estudio, después de una semana de consumo de placebo, con valores medios inferiores al inicio, siendo estos valores de $220,3 \pm 9,0$ J de trabajo total.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 10. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del trabajo total en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Trabajo total (J)	β-alanina	226,2 ± 16,7	234,0 ± 17,1	0,305	0,046
	Placebo	235,0 ± 19,3	220,3 ± 9,0	0,050	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se observó:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se encuentran diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el momento del inicio del estudio ($p=0,445$), por lo que ambos grupos parten de la misma base y se consideran grupos homogéneos.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El consumo de placebo ofrece modificaciones en los niveles de esta variable durante la ingesta. Los sujetos empeoran con respecto al inicio del estudio, apreciándose diferencias significativas en la evolución de esta variable ($p<0,050$).
 - Grupo experimental. No se observa un aumento estadísticamente significativo de esta variable ($p=0,305$).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de ambos grupos, se observan diferencias significativas ($p<0,046$), por lo que se puede afirmar que el consumo del producto experimental mejora más los valores de esta variable en comparación con el producto placebo.

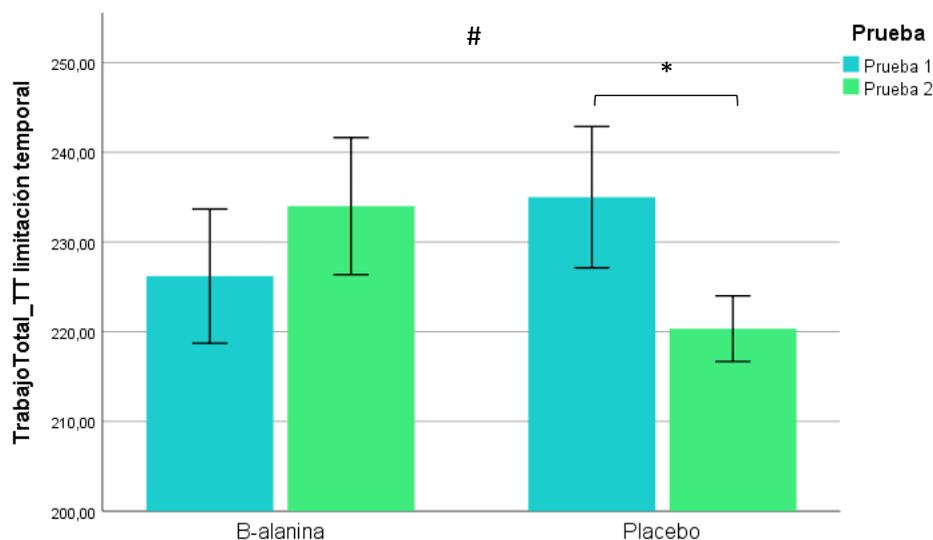


Figura 18. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del trabajo total en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.1.4 AUC de trabajo

El área bajo la curva del trabajo realizado por los sujetos comienza con valores medios de $70520,8 \pm 5566,2$ J x m para el grupo control y de $68711,0 \pm 5227,6$ J x m para el grupo con consumo experimental. Al finalizar el estudio, los sujetos del grupo control disminuyen los niveles a valores medios de $66761,2 \pm 3823,6$ J x m y el grupo experimental aumenta los valores después de una semana de consumo a valores medios de $72204,8 \pm 5020,6$ J x m.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 11. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del AUC de trabajo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	p -valor ¹	p -valor ²
AUC de trabajo (J x m)	β -alanina	68711,0 \pm 5227,6	72204,8 \pm 5020,6	0,182	0,050
	Placebo	70520,8 \pm 5566,2	66761,2 \pm 3823,6	0,122	

¹ p : significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² p : significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se aprecian diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el instante inicial ($p=0,595$), por lo que son grupos homogéneos.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. La evolución de los sujetos que han consumido el producto placebo no ofrece diferencias significativas ($p=0,122$).
 - Grupo experimental. No se observaron diferencias significativas ($p=0,182$) en la evolución de esta variable.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los grupos placebo y experimental, se puede determinar que el consumo del producto experimental tras una semana aumenta los valores de esta variable con respecto al grupo control (que los disminuye), de forma estadísticamente significativa ($p<0,050$).

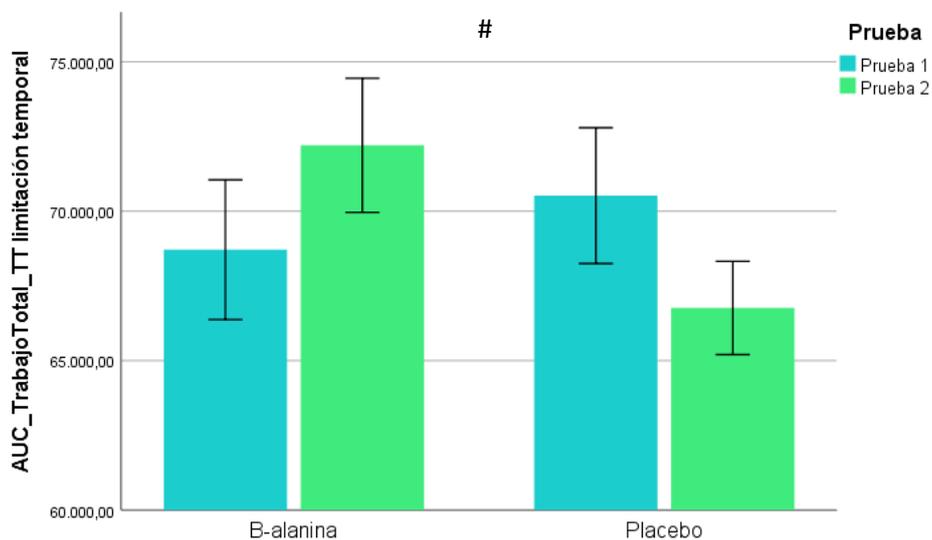


Figura 19. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del AUC de trabajo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.1.5 AUC de potencia

En el inicio del estudio, el área bajo la curva de la potencia realizado por los sujetos con consumo de placebo comienza con valores medios de $214162,1 \pm 18761,3$ W x m y finaliza con valores inferiores, con una media de $191539,4 \pm 9341,5$ W x m.

Con respecto al grupo que consumió durante una semana β -alanina comenzó con valores medios de $204465,4 \pm 16153,8$ W x m. Al finalizar el estudio, los valores se mantienen muy similares al inicio, con valores de $204068,2 \pm 15872,5$ W x m.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del AUC de potencia en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
AUC potencia (W x m)	β-alanina	204465,4 ± 16153,8	204068,2 ± 15872,5	0,954	0,037
	Placebo	214162,1 ± 18761,3	191539,4 ± 9341,5	0,005	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. En el momento inicial del estudio, ambos grupos son homogéneos para esta variable, ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal ($p=0,388$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo que ha ingerido el producto placebo ha disminuido los valores de esta variable. La disminución de esta variable muestra diferencias significativas ($p<0,005$).
 - Grupo experimental. Al finalizar la semana de consumo de producto, no se observaron diferencias significativas ($p=0,954$) en la evolución de esta variable, manteniendo valores muy similares al inicio y fin.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los grupos, se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo ($p<0,037$). Por lo que el consumo de β-alanina ayuda a mantener el rendimiento de esta variable tras una semana de entrenamiento intenso, mientras que el grupo con consumo de placebo disminuye los valores medios.

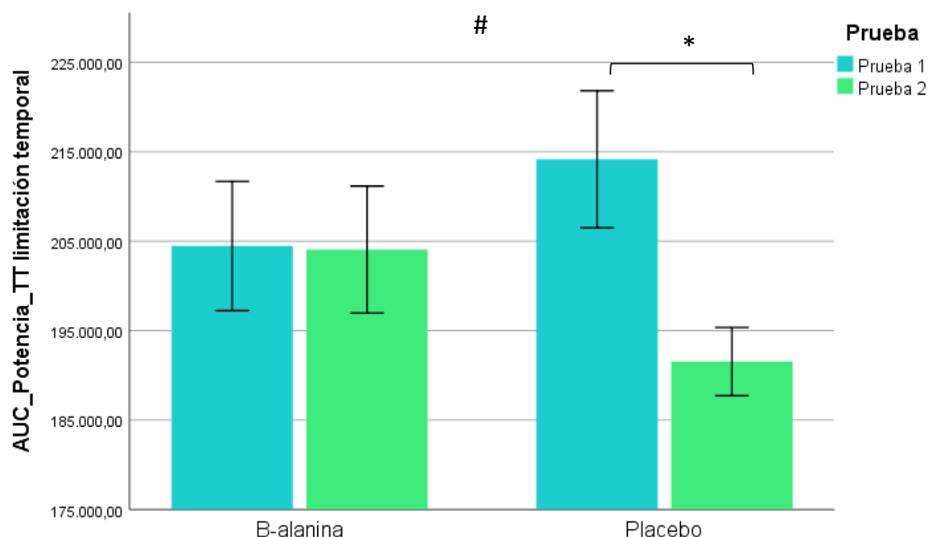


Figura 20. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del AUC de potencia en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.1.6 Cadencia

Los valores iniciales con los que empieza el grupo con consumo de placebo para esta variable son de $106,6 \pm 6,7$ rpm, aumentando en la segunda prueba a valores de $107,4 \pm 5,8$ rpm.

En el grupo con consumo de β -alanina los valores son muy similares, comenzando con valores medios de $106,6 \pm 2,6$ rpm. Al finalizar la semana de consumo el grupo finaliza con valores medios inferiores, a diferencia de lo que ocurre con el grupo placebo, siendo sus valores medios de $105,4 \pm 6,4$ rpm.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 13. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la cadencia en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Cadencia (rpm)	β-alanina	106,6 ± 2,6	105,4 ± 6,4	0,577	0,506
	Placebo	106,6 ± 6,7	107,4 ± 5,8	0,704	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Ambos grupos comienzan con valores homogéneos para esta variable ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal ($p=0,997$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo con consumo de placebo presenta valores medios superiores en la segunda prueba, pero no suponen diferencias significativas ($p=0,704$).
 - Grupo experimental. Teniendo en cuenta el consumo de producto experimental, tampoco se observaron diferencias significativas ($p=0,577$) al evaluar la evolución de dicho grupo tras la semana de consumo.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. El grupo con consumo de β-alanina disminuye en 1,2 rpm los valores medios para esta variable, a diferencia de lo que ocurre en el grupo placebo que aumenta sus valores medios en 0,75 rpm. A pesar de estas diferencias, al comparar esta evolución de ambos grupos, no se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo ($p=0,506$). Teniendo en cuenta estos valores no se puede afirmar que el consumo de β-alanina afecte positivamente a esta variable.

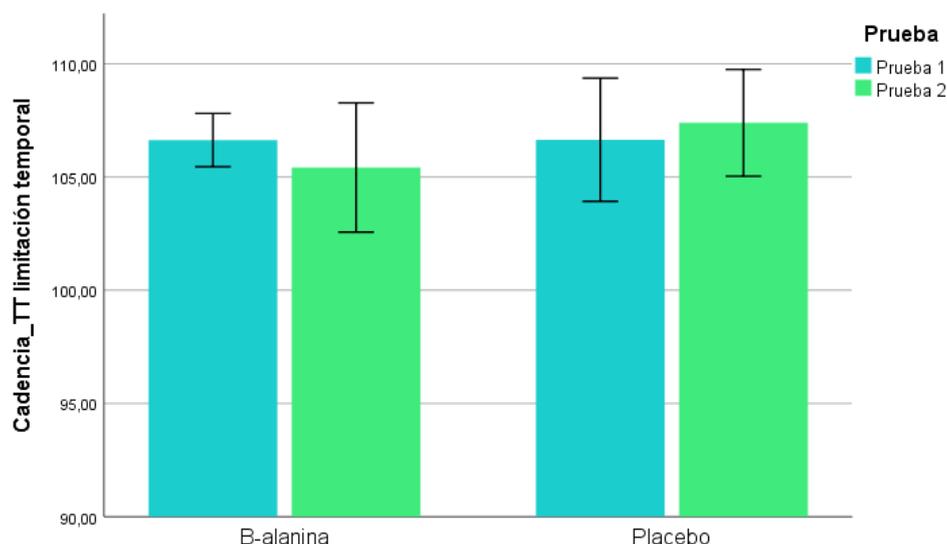


Figura 21. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la cadencia en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

5.3.1.7 Fuerza de pedaleo

Para la fuerza de pedaleo media de los ciclistas, observamos que el grupo control parte de valores medios de $266,2 \pm 20,3$ N y el grupo experimental de valores de $263,2 \pm 45,8$ N.

El grupo control finaliza el estudio, después de 7 días de ingesta, con valores de $241,4 \pm 39,1$ N. El grupo experimental consigue obtener los valores elevados tras el consumo, siendo éstos de $261,4 \pm 27,4$ N.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la fuerza de pedaleo media en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Fuerza de pedaleo (N)	β -alanina	$263,2 \pm 45,8$	$261,4 \pm 27,4$	0,900	0,260
	Placebo	$266,2 \pm 20,3$	$241,4 \pm 39,1$	0,086	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se observan diferencias significativas en el momento inicial entre ambos grupos ($p=0,887$), por lo que se puede determinar que son homogéneos para esta variable.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. La evolución de este grupo tras el consumo de placebo disminuyó sus valores en 24,75 N, pero estas modificaciones no son estadísticamente significativas ($p=0,086$). Se podría determinar que habría una tendencia a la significación.
 - Grupo experimental. No se aprecian diferencias significativas ($p=0,900$) en la evolución de esta variable tras el consumo de este producto. A pesar de encontrar una pequeña disminución, ésta no es tan pronunciada como en el otro grupo.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Aunque haya una tendencia a la disminución en el grupo control, al evaluar la evolución de ambos grupos no se puede determinar diferencias significativas ($p=0,260$). Por lo que el consumo de β -alanina no provoca una mejora significativa para esta variable.

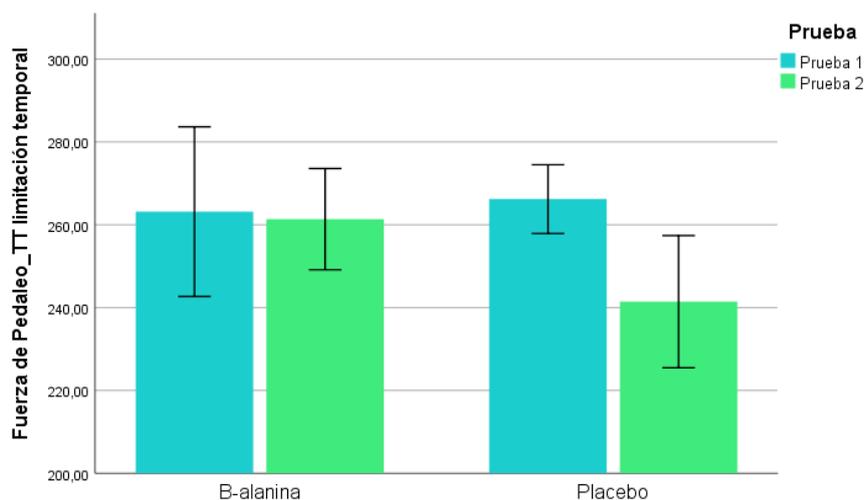


Figura 22. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la fuerza de pedaleo media en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

5.3.1.8 *Percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)*

La percepción subjetiva del esfuerzo medida a través de la escala de Borg, se recogieron en dos momentos diferentes. La primera se recogió previa a la prueba, un minuto después de haber finalizado el calentamiento precompetitivo, y la segunda medición, justo al finalizar la contrarreloj de 10 min.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento

Tras realizar el calentamiento, el primer día de prueba, los sujetos parten de valores medios de $1,6 \pm 0,9$ puntos en el grupo experimental y de $3,7 \pm 2,3$ puntos en el grupo control.

Tras la semana de consumo, los sujetos finalizan el calentamiento con valores medios de $2,4 \pm 1,3$ puntos en el grupo experimental y de $3,5 \pm 1,4$ puntos en el grupo control.

Medición al finalizar la contrarreloj

Uno de los criterios para verificar la maximalidad de la prueba fue la percepción subjetiva del esfuerzo. Por lo que la segunda medición de la RPE fue justo al finalizar la contrarreloj. En el inicio del estudio, los sujetos con consumo de β -alanina finalizaron la prueba con valores medios de $8,8 \pm 0,8$ puntos, y el grupo control con valores de $8,3 \pm 1,9$ puntos.

Al finalizar el estudio, tras el consumo de suplementación, los sujetos del grupo experimental finalizaron el estudio con valores medios de $9,6 \pm 0,5$ puntos y el grupo control finalizó con valores de $9,2 \pm 2,0$ puntos.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 15. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la RPE para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
RPE previa a contrarreloj (puntos)	β-alanina	1,6 ± 0,9	2,4 ± 1,3	0,865	0,430
	Placebo	3,7 ± 2,3	3,5 ± 1,4	0,789	
RPE final de contrarreloj (puntos)	β-alanina	8,8 ± 0,8	9,6 ± 0,5	0,050	0,946
	Placebo	8,3 ± 1,9	9,2 ± 2,0	0,030	

¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² *p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Tras los 10 min de la contrarreloj, al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Los valores con los que finalizan la contrarreloj ambos grupos son homogéneos ($p=0,619$), por lo que las condiciones iniciales de los ciclistas antes de comenzar la ingesta de suplementación son las mismas.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los sujetos que se encontraban en el grupo con consumo de placebo aumentaron los valores con los que finalizaron la prueba después de una semana de consumo. Este aumento muestra diferencias significativas ($p<0,030$).
 - Grupo experimental. Con respecto a este grupo, también se observaron diferencias significativas ($p<0,050$) en los datos obtenidos al finalizar la contrarreloj con respecto a la prueba inicial, observando un aumento en los valores después del consumo.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. A pesar de que ambos grupos finalizan la segunda prueba con valores más altos que con respecto a la prueba inicial, al comparar ambos grupos no se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo ($p=0,946$). Por lo que

ambos grupos mejoran en la misma proporción (incremento de 0,80 en el grupo experimental y de 0,83 en el grupo control).

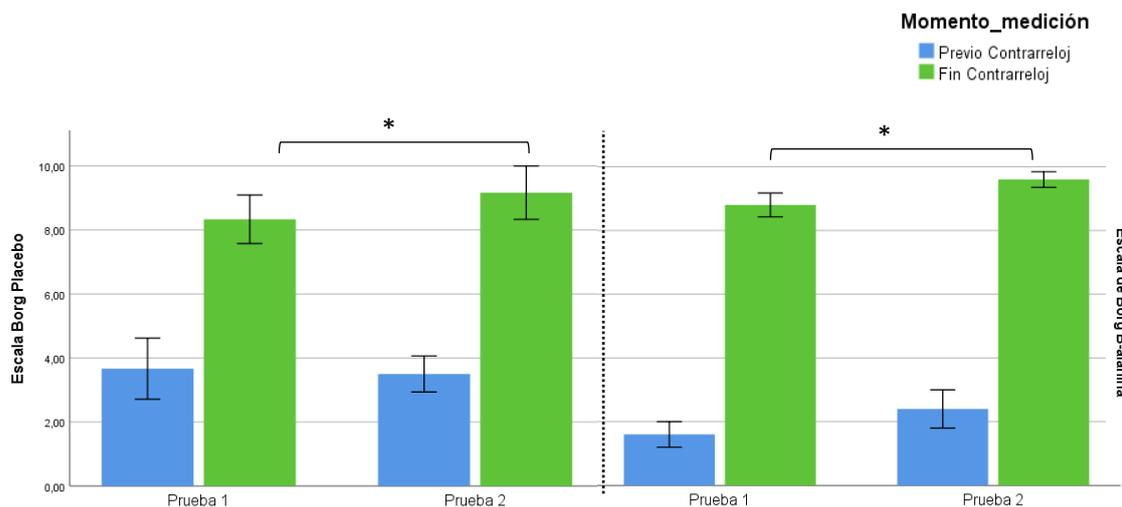


Figura 23. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la RPE para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado el final de cada una de las pruebas para cada uno de los grupos (test de Bonferroni);

5.3.2 Respuestas bioquímicas

5.3.2.1 Lactato

El lactato en sangre fue medido en cuatro ocasiones.

Medición basal (Lactato B)

El día de la prueba 1 los sujetos del grupo experimental comienzan con valores medios de $2,3 \pm 0,7$ mmol/L y finalizan con valores de $2,3 \pm 0,4$ mmol/L.

Con respecto al grupo con consumo de placebo el primer día lo hace con valores de $2,1 \pm 0,7$ mmol/L y el día de la segunda prueba comienza el día con valores medios de $2,2 \pm 0,6$ mmol/L.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (Lactato 2)

Después de realizar los 10 min de calentamiento precompetitivo los sujetos finalizaron el primer día con valores medios de $1,9 \pm 0,6$ mmol/L en el grupo experimental y con valores de $1,7 \pm 0,5$ mmol/L en el grupo placebo.

El segundo día, tras la semana de ingesta, los sujetos comenzaron la prueba de contrarreloj con valores medios de $1,9 \pm 0,4$ mmol/L en el grupo con consumo de β -alanina y con valores de $1,8 \pm 0,4$ mmol/L en el grupo control.

Medición al finalizar la contrarreloj (Lactato 3)

Los niveles de lactato en sangre tras la realización de la prueba de contrarreloj determinan que ambas pruebas fueron maximales. El día 1, el grupo experimental finaliza la prueba con valores medios de $11,4 \pm 2,4$ mmol/L y el día 2, con valores de $13,8 \pm 2,6$ mmol/L.

Los valores medios para el grupo control fueron de $12,2 \pm 3,5$ mmol/L en la prueba 1 y de $10,9 \pm 4,4$ mmol/L en la prueba 2.

Medición tras 3 min de recuperación (Lactato 4)

Con el objetivo de conocer el grado de recuperación de los sujetos, se determinó una última medición tras los 3 min de finalizar la contrarreloj. Los valores medios del primer día fueron de $10,3 \pm 2,6$ mmol/L en el grupo experimental y de $10,2 \pm 2,3$ mmol/L en el grupo control.

Tras la semana de consumo, los sujetos finalizan en esta variable con valores medios de $11,8 \pm 3,7$ mmol/L en el grupo experimental y $10,4 \pm 4,6$ mmol/L en el grupo control.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 16. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del lactato para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Lactato B (mmol/L)	β -alanina	$2,3 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,4$	0,960	0,930
	Placebo	$2,1 \pm 0,7$	$2,2 \pm 0,6$	0,853	
Lactato 2 (mmol/L)	β -alanina	$1,9 \pm 0,6$	$1,9 \pm 0,4$	1,000	0,764
	Placebo	$1,7 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,4$	0,657	

Continuación Tabla 16.

		Prueba 1	Prueba 2	p-valor ¹	p-valor ²
Lactato 3 (mmol/L)	β -alanina	11,4 \pm 2,4	13,8 \pm 2,6	0,065	0,040
	Placebo	12,2 \pm 3,5	10,9 \pm 4,4	0,241	
Lactato 4 (mmol/L)	β -alanina	10,3 \pm 2,6	11,8 \pm 3,7	0,336	0,549
	Placebo	10,2 \pm 2,3	10,4 \pm 4,6	0,855	

¹p: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores obtenidos después del calentamiento y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 17. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de lactato para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	p-valor ¹	p-valor ²
		Δ (Inicio – Fin)	Δ (Inicio – Fin)		
Lactato (mmol/L)	β -alanina	9,5 \pm 2,3	11,9 \pm 2,2	0,060	0,036
	Placebo	10,5 \pm 3,8	9,1 \pm 4,3	0,208	

¹p: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al tener en cuenta la homogeneidad de los grupos, no se encuentran diferencias significativas en los valores iniciales de esta variable ($p=0,647$), por lo que se puede determinar que ambos parten de las mismas condiciones.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.

- Grupo control. Al evaluar el grupo con consumo de placebo, se determina que el incremento en la prueba 1 es mayor que el alcanzado en la prueba 2. Siendo esta diferencia de 1,4 mmol/L. A pesar de esta diferencia en los valores, las modificaciones no son estadísticamente significativas ($p=0,208$), por lo que no se puede determinar que el grupo realiza una peor prueba después de la semana de entrenamiento intensivo para esta variable.
- Grupo experimental. Al tener en cuenta la evolución del grupo experimental, se puede observar todo lo contrario que en el grupo control. Los valores son mayores tras la semana de suplementación con β -alanina con respecto al primer día, siendo la diferencia de 2,8 mmol/L. A pesar de las diferencias entre ambos días, no se puede determinar que existan diferencias significativas ($p=0,060$), pero sí que hay una tendencia al aumento de los valores de lactato después de una semana de ingesta de β -alanina.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. A pesar de que no se hayan diferencias significativas al tener en cuenta la evolución de los incrementos de cada uno de los grupos por separado, cuando se comparan dichas evoluciones podemos determinar que si hay diferencias significativas ($p<0,036$) y que por tanto el consumo de β -alanina provoca que los sujetos puedan obtener valores de lactato superiores, y seguir rindiendo adecuadamente.

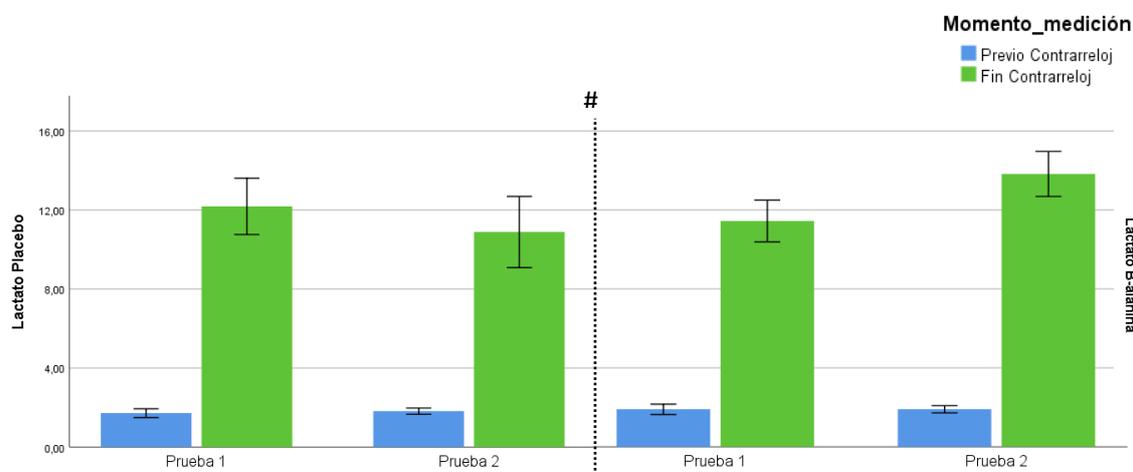


Figura 24. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del lactato para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado el final de cada una de las pruebas para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.3.2.2 Valores de gases en sangre

pH

El pH medido mediante punción en el pulpejo del dedo fue evaluado en cuatro ocasiones diferentes.

Medición basal (pH B)

En el momento en el que los ciclistas llegan a realizar las pruebas, los valores con los que comienzan los sujetos con consumo de producto experimental son de $7,416 \pm 0,023$ el primer día y de $7,431 \pm 0,008$ en la prueba 2.

El grupo con consumo de placebo comienza el día de la prueba 1 con valores de $7,400 \pm 0,018$ y el día de la prueba 2 lo hace con valores medios de $7,404 \pm 0,022$.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (pH 2)

Antes de comenzar la contrarreloj se les volvió a tomar los valores de esta variable, siendo la media de $7,416 \pm 0,031$ para el grupo con consumo de β-alanina y de $7,426 \pm 0,023$ para el grupo con consumo de placebo en la prueba 1.

En la prueba 2, después de la semana de consumo de suplementación, los valores medios con los que finalizan el calentamiento, y por tanto los valores con los que parten para realizar la contrarreloj es de $7,431 \pm 0,010$ para el grupo experimental y de $7,425 \pm 0,026$ para el grupo placebo.

Medición al finalizar la contrarreloj (pH 3)

Justo después de finalizar la contrarreloj se volvieron a tomar los valores de esta variable en cada uno de los sujetos. En el primer día de pruebas, sin consumo de ningún producto, se obtuvieron valores medios de $7,225 \pm 0,044$ en el grupo experimental y de $7,233 \pm 0,047$ en el grupo placebo.

Los valores medios de esta variable, en este momento de la prueba, fue de $7,238 \pm 0,084$ en el grupo experimental y de $7,253 \pm 0,090$ para el grupo placebo.

Medición tras 3 min de recuperación (pH 4)

Después de los 3 min de recuperación, los datos obtenidos en el grupo con consumo de β -alanina fue de $7,263 \pm 0,047$ el primer día de pruebas y de $7,269 \pm 0,086$ en el segundo día de pruebas.

Al observar al grupo placebo, los valores medios fue de $7,248 \pm 0,038$ en la prueba 1 y de $7,288 \pm 0,085$ después de la semana de suplementación.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 18. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del pH para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
pH B	β -alanina	$7,416 \pm 0,023$	$7,431 \pm 0,008$	0,108	0,358
	Placebo	$7,400 \pm 0,018$	$7,404 \pm 0,022$	0,620	
pH 2	β -alanina	$7,416 \pm 0,031$	$7,431 \pm 0,010$	0,237	0,350
	Placebo	$7,426 \pm 0,023$	$7,425 \pm 0,026$	0,942	

Continuación Tabla 18.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
pH 3	β-alanina	7,225 ± 0,044	7,238 ± 0,084	0,631	0,859
	Placebo	7,233 ± 0,047	7,253 ± 0,091	0,435	
pH 4	β-alanina	7,263 ± 0,047	7,269 ± 0,086	0,785	0,290
	Placebo	7,248 ± 0,038	7,288 ± 0,085	0,080	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 19. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de pH para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Δ (Basal – Final)	Δ (Basal – Final)		
pH	β-alanina	- 0,19 ± 0,02	- 0,19 ± 0,08	0,923	0,606
	Placebo	- 0,17 ± 0,05	- 0,15 ± 0,08	0,510	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Ambos grupos comienzan con valores homogéneos ya que en el momento inicial sus valores son similares y no se hayan diferencias significativas ($p=0,388$).

- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los descensos observados en esta variable entre las dos pruebas fueron de 0,02, lo que no demuestra que existan diferencias significativas ($p=0,510$).
 - Grupo experimental. En este grupo, la evolución de ambas pruebas no supuso ningún cambio, teniendo en ambos días un descenso de 0,19 con respecto al inicio de la prueba. Es por ello por lo que al evaluar la evolución de los valores no se observaron diferencias significativas ($p=0,923$).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos no se aprecian diferencias significativas tras la suplementación de producto ($p=0,606$).

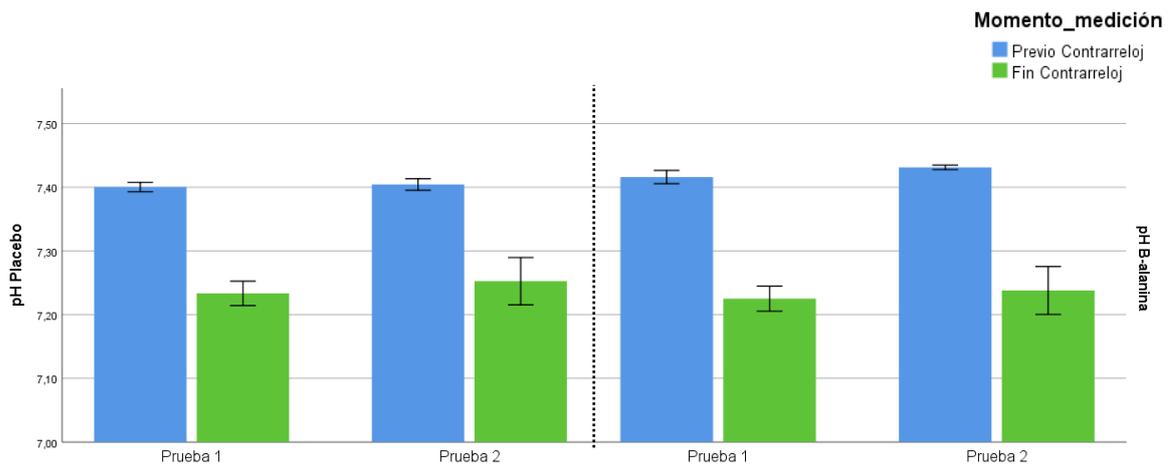


Figura 25. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del pH para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

pCO₂

Los resultados en condiciones normales de la variable pCO₂ oscilan entre 35 y 45 mmHg, si se encuentran por encima de estos valores podrían determinar una acidosis respiratoria y si se encuentran por debajo una alcalosis respiratoria. Es por ello por lo que se ha tenido en cuenta en las mediciones realizadas a los

ciclistas, para conocer a los niveles de partida, y después de realizar la contrarreloj.

Medición basal (pCO₂ B)

Los sujetos del grupo experimental en el día de la prueba 1 comienzan con valores medios de $39,7 \pm 3,0$ mmol/L. Los valores del grupo control son un poco superiores, encontrando valores medios de $41,5 \pm 2,3$ mmol/L.

Al tener en cuenta la prueba 2, realizada después del tiempo de consumo, los valores medios del grupo experimental son de $37,2 \pm 3,9$ mmol/L y los del grupo de control en línea con los valores reflejados en la prueba 1, siendo estos de $41,3 \pm 1,6$ mmol/L.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (pCO₂ 2)

Tras el calentamiento precompetitivo realizado antes de la contrarreloj los sujetos obtienen los valores medios de $37,5 \pm 3,5$ en el grupo experimental y de $37,9 \pm 1,6$ mmol/L en el grupo control, en el primer día que llevaron a cabo la prueba.

Después de la semana de desarrollo del estudio, en el segundo día de pruebas, los sujetos obtienen valores medios de $37,7 \pm 2,9$ mmol/L en el grupo experimental y de $37,9 \pm 1,2$ mmol/L en el grupo control para esta variable.

Medición al finalizar la contrarreloj (pCO₂ 3)

Los niveles de la presión parcial de dióxido de carbono tras la realización de la prueba de 10 min de contrarreloj fueron de $31,4 \pm 1,8$ mmol/L para el grupo con consumo de β-alanina en el primer día, y con valores medios de $28,4 \pm 2,5$ mmol/L en el segundo día de mediciones.

Los valores medios para el grupo control fueron de $33,0 \pm 3,3$ mmol/L en la prueba 1 y de $32,6 \pm 2,5$ mmol/L en la prueba 2.

Medición tras 3 min de recuperación (pCO₂ 4)

Los valores medios del primer día fueron de $29,4 \pm 2,4$ mmol/L en el grupo experimental y de $31,2 \pm 2,3$ mmol/L en el grupo control.

Tras la semana de consumo, los sujetos finalizan en esta variable con valores medios de $27,8 \pm 1,8$ mmol/L en el grupo experimental y $29,8 \pm 2,1$ mmol/L en el grupo control.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 20. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del pCO₂ para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
pCO ₂ B (mmHg)	β-alanina	39,7 ± 3,0	37,2 ± 3,9	0,162	0,342
	Placebo	41,5 ± 2,3	41,3 ± 1,6	0,859	
pCO ₂ 2 (mmHg)	β-alanina	37,5 ± 3,5	37,7 ± 2,9	0,879	0,911
	Placebo	37,9 ± 1,6	37,9 ± 1,2	1,000	
pCO ₂ 3 (mmHg)	β-alanina	31,4 ± 1,8	28,4 ± 2,5	0,069	0,207
	Placebo	33,0 ± 3,3	32,6 ± 2,5	0,810	
pCO ₂ 4 (mmHg)	β-alanina	29,4 ± 2,4	27,8 ± 1,8	0,192	0,874
	Placebo	31,2 ± 2,3	29,8 ± 2,1	0,224	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 21. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de pCO₂ para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Δ (Basal – Final)	Δ (Basal – Final)		
pCO ₂ (mmHg)	β-alanina	- 8,2 ± 3,5	- 8,8 ± 4,3	0,801	0,868
	Placebo	- 8,6 ± 3,7	- 8,6 ± 2,7	0,975	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Los dos grupos parten de valores similares al inicio del estudio, no encontrando diferencias significativas en los valores iniciales de esta variable ($p=0,884$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo con consumo de placebo presenta la misma disminución de 8,6 mmHg en esta variable en cada una de las pruebas. Teniendo en cuenta que la evolución de este grupo es muy similar en las dos pruebas, cabe esperar que no se encuentren diferencias significativas ($p=0,975$), y por tanto no hay ninguna mejora o empeoramiento en esta variable para este grupo.
 - Grupo experimental. En este grupo si se observa una disminución mayor en el segundo día de prueba, es decir, después de la semana con consumo de producto. La disminución entre ambos días fue de 0,6 mmHg, por lo que, a pesar de encontrar dicha diferencia entre ambos días, no son modificaciones estadísticamente significativas ($p=0,801$).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta el incremento de la evolución de ambos grupos, no se puede determinar que haya diferencias significativas ($p=0,868$).

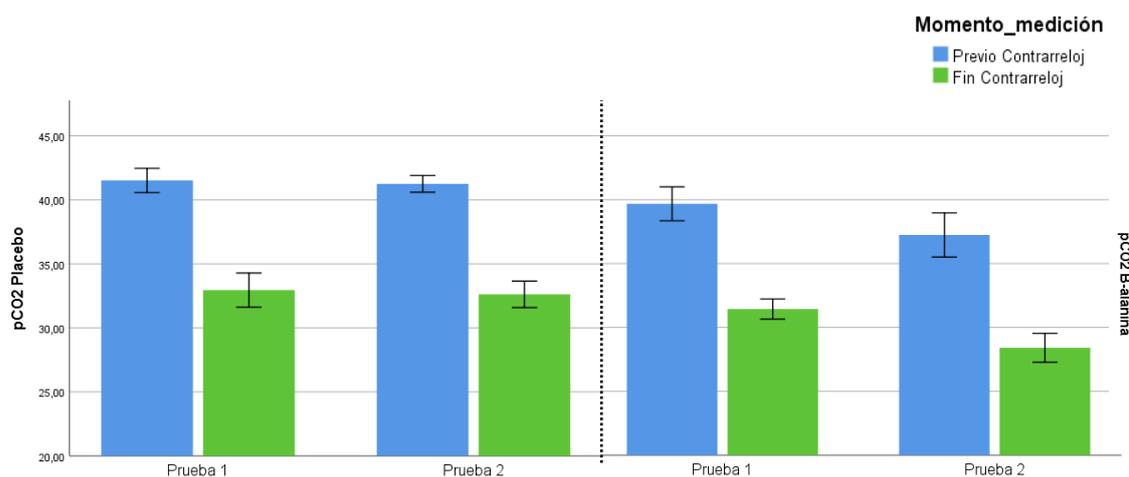


Figura 26. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del pCO₂ para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

pO₂

La presión parcial de oxígeno oscila, en condiciones normales, entre 75 y 100 mmHg. En el momento que baja de 60 mmHg medido teniendo en cuenta el disuelto en la sangre, se podría considerar que la persona presenta insuficiencia respiratoria. Al igual que el resto de las variables se mide en cuatro ocasiones: estado basal, posterior al calentamiento precompetitivo, justo al finalizar la contrarreloj de 10 min de prueba y la última, después de 3 min de recuperación.

Medición basal (pO₂ B)

El día de la prueba 1 los sujetos del grupo experimental comienzan con valores medios de $68,8 \pm 5,6$ mmol/L y el segundo día lo hacen con valores de $79,8 \pm 10,5$ mmol/L.

Con respecto al grupo con consumo de placebo el primer día lo hace con valores de $66,4 \pm 5,8$ mmol/L y el día de la segunda prueba comienza el día con valores medios de $70,4 \pm 11,6$ mmol/L.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (pO₂ 2)

En la medición realizada después de los 10 min de calentamiento precompetitivo los sujetos finalizaron el primer día con valores medios de $86,1 \pm 10,4$ mmol/L en el grupo experimental y con valores de $84,0 \pm 6,0$ mmol/L en el grupo placebo.

Después de la semana de suplementación, en la segunda prueba realizada, los sujetos del grupo con consumo de β -alanina comenzaron la prueba de contrarreloj con valores medios de $89,5 \pm 8,7$ mmol/L en el grupo con consumo de y con valores de $85,8 \pm 7,4$ mmol/L en el grupo control.

Medición al finalizar la contrarreloj (pO₂ 3)

Los niveles de esta variable en el día 1, el grupo experimental finaliza la prueba con valores medios de $85,7 \pm 5,3$ mmol/L y el día 2, con valores de $89,8 \pm 6,8$ mmol/L.

Los valores medios para el grupo control fueron de $78,3 \pm 7,7$ mmol/L en la prueba 1 y de $85,1 \pm 8,7$ mmol/L en la prueba 2.

Medición tras 3 min de recuperación (pO₂ 4)

La última medición realizada 3 min después de haber finalizado la prueba, los valores medios del primer día fueron de $99,8 \pm 6,6$ mmol/L en el grupo experimental y de $92,8 \pm 6,2$ mmol/L en el grupo control.

Tras la semana de consumo, los sujetos finalizan en esta variable con valores medios de $97,6 \pm 7,1$ mmol/L en el grupo experimental y $93,7 \pm 7,5$ mmol/L en el grupo control.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 22. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del pO₂ para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
pO ₂ B (mmHg)	β-alanina	68,8 ± 5,6	79,8 ± 10,5	0,012	0,175
	Placebo	66,4 ± 5,8	70,4 ± 11,6	0,248	
pO ₂ 2 (mmHg)	β-alanina	86,1 ± 10,4	89,5 ± 8,7	0,547	0,837
	Placebo	84,0 ± 6,0	85,8 ± 7,4	0,718	
pO ₂ 3 (mmHg)	β-alanina	85,7 ± 5,3	89,8 ± 6,8	0,049	0,304
	Placebo	78,3 ± 7,7	85,1 ± 8,7	0,003	
pO ₂ 4 (mmHg)	β-alanina	99,8 ± 6,6	97,6 ± 7,1	0,530	0,518
	Placebo	92,8 ± 6,2	93,7 ± 7,5	0,784	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 23. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de pO₂ para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Δ (Basal – Final)	Δ (Basal – Final)		
pO ₂ (mmHg)	β-alanina	16,9 ± 8,1	10,0 ± 13,3	0,143	0,132
	Placebo	11,9 ± 6,3	14,7 ± 11,3	0,499	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² *p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. En el momento inicial del estudio, ambos grupos son homogéneos para esta variable, ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal (*p*=0,281).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo que ha ingerido el producto placebo aumenta los valores medios de esta variable en ambas pruebas, siendo el incremento mayor en la prueba 2, a pesar de que los valores iniciales en esta segunda prueba son más elevados que en la primera. Al tener en cuenta la evolución de ambos días, se puede observar un incremento de 2,8 mmHg, pero no supone ninguna diferencia estadísticamente significativa (*p*=0,499). Al tener en cuenta los valores obtenidos al finalizar la contrarreloj (pO₂ 3), se pueden observar diferencias significativas entre ambas pruebas (*p*<0,003).
 - Grupo experimental. Al evaluar la evolución del incremento de esta variable en el grupo con consumo de β-alanina también se observa un aumento de los valores medios. Aunque las modificaciones no demuestran diferencias significativas (*p*=0,143) si se puede observar una tendencia al aumento de la significancia de los valores de la pO₂.

A pesar de que los incrementos en la prueba 2 son menores que en la prueba 1 (-6,9 mmHg), debido a que el segundo día comienza con valores medios más elevados, el valor medio obtenido en la medición llevada a cabo justo después de finalizar la contrarreloj es superior. Si se tiene en cuenta la evolución de esta medición en ambas pruebas (pO₂ 3), se pueden observar modificaciones significativas (p<0,049).

- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. A pesar de las modificaciones nombradas anteriormente, si se tiene en cuenta el incremento de los incrementos de las pruebas 1 y 2, no se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo (p=0,132). Por lo que el consumo de β-alanina no determina una mejora de los valores de esta variable con respecto al consumo de placebo.

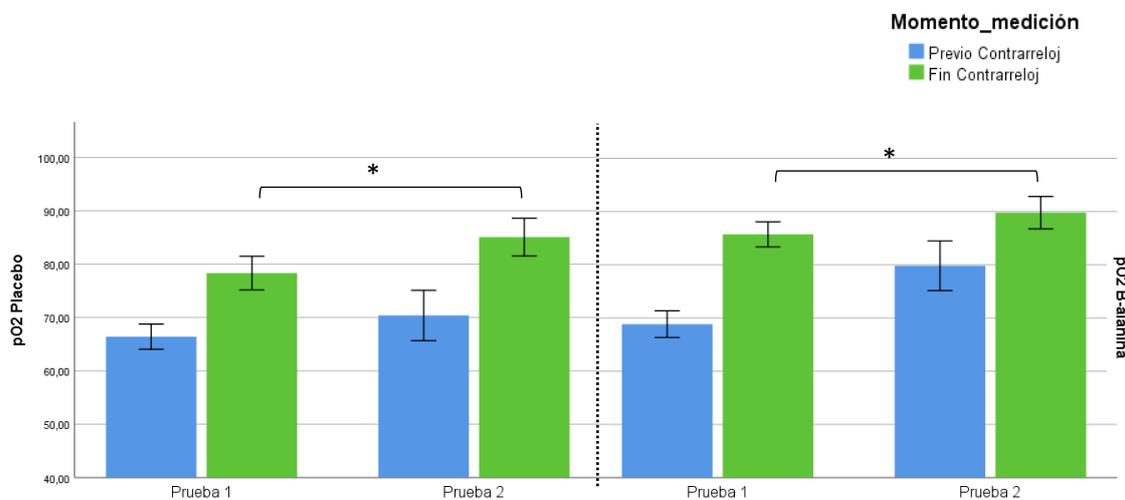


Figura 27. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del pO₂ para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. *p<0,050 cambios significativos al comparar el estado final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.3.2.3 Estado ácido – base

Equilibrio ácido – base (EBA)

Al igual que el resto de las variables bioquímicas, el equilibrio ácido – base fue medido en cuatro ocasiones en la prueba, con el objetivo de determinar que los valores de los iones hidrógeno de la sangre se encontraban dentro de los límites normales, y no hubiese ninguna descompensación en el pH.

Medición basal (EBA B)

La medición realizada en condiciones basales, momento en el que los ciclistas llegaban a la sala donde se iba a realizar la prueba, los sujetos partieron de valores medios de $0,9 \pm 1,6$ mmol/L en el grupo con consumo de producto experimental y de $0,7 \pm 1,4$ mmol/L en el grupo con consumo de placebo el primer día de prueba.

El segundo día de prueba, después de la semana de consumo de producto, los valores medios con los que iniciaron la prueba fueron de $0,8 \pm 2,1$ mmol/L para el grupo experimental y de $0,9 \pm 1,0$ mmol/L para el grupo control.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (EBA 2)

El día de la prueba 1 los sujetos del grupo experimental comenzaron la prueba de contrarreloj con valores medios de $-0,1 \pm 1,9$ mmol/L; en la prueba 2 los valores fueron de $1,0 \pm 1,5$ mmol/L.

Con respecto al grupo con consumo de placebo, el primer día lo hicieron con valores medios de $0,7 \pm 1,5$ mmol/L y el día de la segunda prueba comenzó la contrarreloj con valores medios de $0,6 \pm 1,4$ mmol/L.

Medición al finalizar la contrarreloj (EBA 3)

Después de realizar los 10 min de contrarreloj los sujetos finalizaron el primer día con valores medios de $-13,2 \pm 2,4$ mmol/L en el grupo experimental y con valores de $-12,4 \pm 1,9$ mmol/L en el grupo placebo.

El segundo día, tras la semana de ingesta, los sujetos finalizaron la prueba con valores medios de $-13,5 \pm 3,7$ mmol/L en el grupo con consumo de β -alanina y con valores de $-11,4 \pm 4,8$ mmol/L en el grupo control.

Medición tras 3 min de recuperación (EBA 4)

La última determinación, tras los 3 min de recuperación activa, los valores medios del primer día de prueba fueron de $-12,1 \pm 2,3$ mmol/L para el grupo experimental y de $-12,2 \pm 2,0$ mmol/L para el grupo con consumo de placebo.

Tras la semana de consumo, los sujetos finalizan en esta variable con valores medios de $-12,2 \pm 4,3$ mmol/L en el grupo experimental y $-10,5 \pm 4,8$ mmol/L en el grupo control.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 24. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del EBA para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
EBA B (mmol/L)	β -alanina	$0,9 \pm 1,6$	$0,8 \pm 2,1$	0,827	0,717
	Placebo	$0,7 \pm 1,4$	$0,9 \pm 1,0$	0,765	
EBA 2 (mmol/L)	β -alanina	$-0,1 \pm 1,9$	$1,0 \pm 1,5$	0,033	0,078
	Placebo	$0,7 \pm 1,5$	$0,6 \pm 1,4$	0,843	
EBA 3 (mmol/L)	β -alanina	$-13,2 \pm 2,4$	$-13,5 \pm 3,7$	0,803	0,463
	Placebo	$-12,4 \pm 1,9$	$-11,4 \pm 4,8$	0,414	
EBA 4 (mmol/L)	β -alanina	$-12,1 \pm 2,3$	$-12,2 \pm 4,3$	0,916	0,323
	Placebo	$-12,2 \pm 2,0$	$-10,5 \pm 4,8$	0,186	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 25. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de EBA para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Δ (Basal – Final)	Δ (Basal – Final)		
EBA (mmol/L)	β-alanina	- 14,08 ± 2,27	- 14,30 ± 4,17	0,887	0,601
	Placebo	- 13,10 ± 2,72	- 12,22 ± 4,77	0,536	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² *p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. En el momento inicial del estudio, ambos grupos son homogéneos para esta variable, ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal (*p*=0,538).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo que ingirió el producto placebo disminuyó los valores de esta variable. Sin embargo, al comparar la evolución de los incrementos en ambos días de prueba, no se observan diferencias significativas (*p*=0,536), encontrando una diferencia de solamente 0,88 mmol/L.
 - Grupo experimental. Al tener en cuenta el grupo con ingesta de producto experimental, se puede determinar que ambas pruebas son semejantes, no encontrando diferencias significativas (*p*=0,887) en la evolución de esta variable, manteniendo una diferencia en los valores entre ambas pruebas de tan solo 0,22 mmol/L.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los grupos, no se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo (*p*=0,601). Por lo que el consumo de una semana de β-alanina no produce ningún cambio en esta variable.

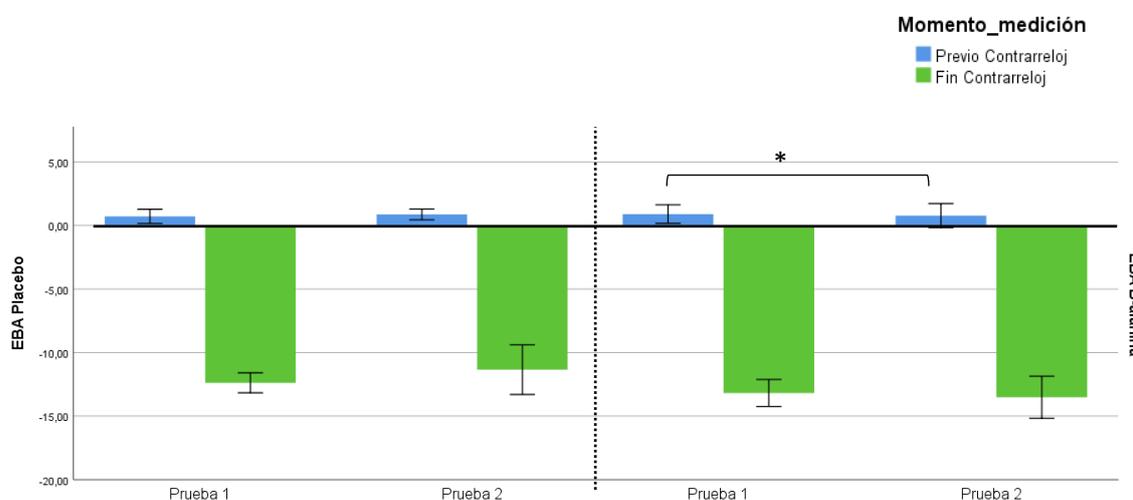


Figura 28. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del EBA para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

Bicarbonato (HCO_3^-)

El bicarbonato, también conocido como HCO_3^- , es un subproducto del metabolismo del cuerpo. Su función fisiológica consiste en mantener el equilibrio ácido – base y por tanto en regular el pH en sangre. Es por ello por lo que cuando se realiza un ejercicio físico intenso, debe de disminuir sus valores.

Esta variable fue medida en estado basal, previa a la prueba de contrarreloj, justo al finalizar la contrarreloj de 10 min y después de 3 min de recuperación.

Medición basal (HCO_3^- B)

El día de la prueba 1 los sujetos del grupo experimental comienzan con valores medios de $25,1 \pm 1,4$ mmol/L y el día de la segunda prueba, comienza con valores de $25,0 \pm 1,8$ mmol/L.

Con respecto al grupo con consumo de placebo el primer día lo hace con valores de $24,9 \pm 1,2$ mmol/L y el día de la segunda prueba los valores basales fueron de $25,0 \pm 1,0$ mmol/L.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (HCO_3^- 2)

Después del calentamiento los sujetos tuvieron valores medios de $24,3 \pm 1,6$ mmol/L en el grupo experimental y de $25,0 \pm 1,3$ mmol/L en el grupo control, el primer día de prueba.

El segundo día, tras la semana de ingesta, los sujetos comenzaron la prueba de contrarreloj con valores medios de $25,3 \pm 1,4$ mmol/L en el grupo con consumo de β -alanina y con valores de $25,0 \pm 1,2$ mmol/L en el grupo control.

Medición al finalizar la contrarreloj (HCO_3^- 3)

Tras la prueba de contrarreloj, los valores medios del primer día para el grupo experimental fueron de $14,7 \pm 1,4$ mmol/L y en el segundo día de $14,5 \pm 2,3$ mmol/L.

En el grupo con consumo de placebo los valores del primer día de prueba fueron de $15,1 \pm 1,3$ mmol/L y para el segundo día de $15,9 \pm 3,2$ mmol/L.

Medición tras 3 min de recuperación (HCO_3^- 4)

La última medición de esta variable, llevada a cabo después de los 3 min de recuperación tras la contrarreloj de 10 min, los sujetos dieron valores medios de $15,4 \pm 1,4$ mmol/L en el grupo experimental y de $15,3 \pm 1,3$ mmol/L en el grupo control, ambos en el primer día de prueba.

En el segundo día, tras el consumo de producto y la semana de entrenamiento intensiva, los valores medios de esta variable después de la recuperación activa de la prueba máxima fueron de $15,3 \pm 2,7$ mmol/L en el grupo experimental y de $16,5 \pm 3,3$ mmol/L en el grupo control.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 26. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del HCO_3^- para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
HCO_3^- B (mmol/L)	β -alanina	$25,1 \pm 1,4$	$25,0 \pm 1,8$	0,933	0,768
	Placebo	$24,9 \pm 1,2$	$25,0 \pm 1,0$	0,731	
HCO_3^- 2 (mmol/L)	β -alanina	$24,3 \pm 1,6$	$25,3 \pm 1,4$	0,037	0,089
	Placebo	$25,0 \pm 1,3$	$25,0 \pm 1,2$	0,892	

Continuación Tabla 26.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
HCO ₃ ⁻ 3 (mmol/L)	β-alanina	14,7 ± 1,4	14,5 ± 2,3	0,843	0,427
	Placebo	15,1 ± 1,3	15,9 ± 3,2	0,339	
HCO ₃ ⁻ 4 (mmol/L)	β-alanina	15,4 ± 1,4	15,3 ± 2,7	0,931	0,317
	Placebo	15,3 ± 1,3	16,5 ± 3,3	0,175	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 27. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de HCO₃⁻ para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1 Δ (Basal – Final)	Prueba 2 Δ (Basal – Final)	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	β-alanina	- 10,36 ± 1,62	- 10,50 ± 2,88	0,894	0,576
	Placebo	- 9,78 ± 2,01	- 9,12 ± 3,25	0,495	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. En el momento inicial del estudio, ambos grupos son homogéneos para esta variable, ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal (*p*=0,619).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo con consumo de placebo disminuyó sus valores al tener en cuenta la evolución de ambas pruebas. La

diferencia entre los dos días (0,66 mmol/L) no determina diferencias significativas en esta variable ($p=0,495$).

- Grupo experimental. Al finalizar la semana de consumo de producto, no se observaron diferencias significativas ($p=0,894$) en la evolución de esta variable. La disminución observada en este grupo fue de 0,14 mmol/L.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los incrementos de los grupos, no se aprecian diferencias significativas tras una semana de consumo ($p=0,576$). Es por ello por lo que no se puede determinar que el consumo de β -alanina pueda aportar una ayuda o mejora en esta variable tras una semana de consumo.

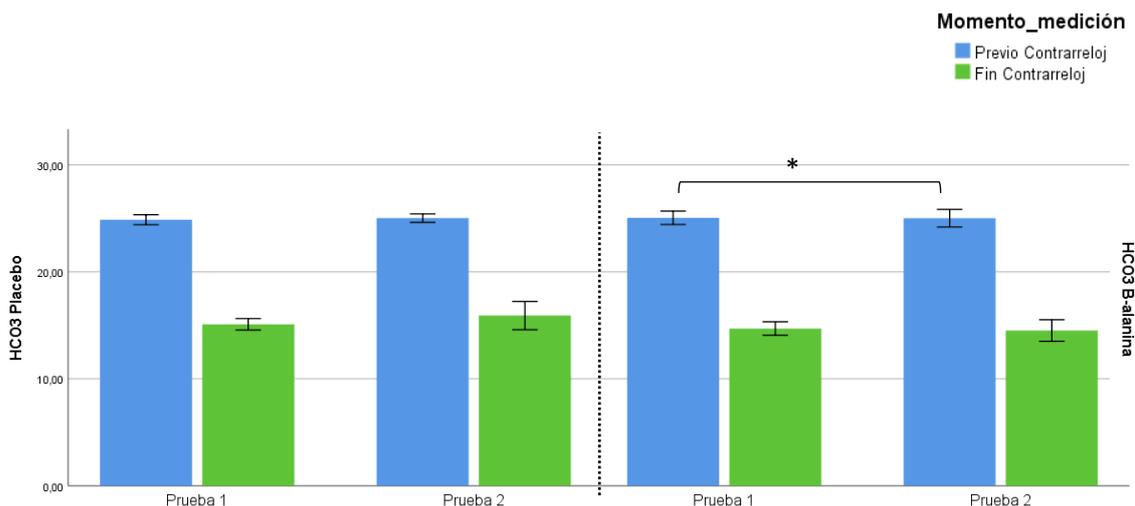


Figura 29. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del HCO_3^- para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

5.3.2.4 Variable de electrolitos

Anión Gap

La brecha aniónica, diferencia entre los cationes y aniones, determinaría si los ciclistas terminan la prueba con una acidosis metabólica. Esta acidosis podría compensarse con una hiperventilación, donde la pCO_2 disminuye y el pH sanguíneo se normaliza completamente o casi completa.

Esta variable fue medida en las cuatro ocasiones anteriormente nombradas.

Medición basal (Anión Gap B)

Los niveles de la brecha aniónica en estado basal en el día 1 fueron de $8,6 \pm 1,5$ mmol/L en el grupo experimental y de $8,4 \pm 1,4$ mmol/L en el grupo placebo.

Los valores medios en el segundo día de prueba, después del consumo de producto, fueron un poco superiores en ambos grupos, siendo estos datos de $9,2 \pm 1,0$ mmol/L en el grupo con consumo de producto experimental y de $9,1 \pm 1,6$ mmol/L en el grupo con consumo de placebo.

Medición previa a la contrarreloj – post calentamiento (Anión Gap 2)

El día de la prueba 1 los sujetos del grupo experimental finalizaron el calentamiento con valores medios de $10,1 \pm 1,4$ mmol/L y en el segundo día de prueba, los valores medios fueron de $9,4 \pm 2,1$ mmol/L para el mismo grupo del estudio.

Con respecto al grupo con consumo de placebo el primer día comenzó la contrarreloj con valores de $8,9 \pm 0,9$ mmol/L y el día de la segunda prueba comienza con valores medios de $9,4 \pm 1,2$ mmol/L.

Medición al finalizar la contrarreloj (Anión Gap 3)

En el momento justo en el que los ciclistas finalizaron la prueba de contrarreloj, los sujetos del grupo experimental lo hicieron con valores medios de $21,0 \pm 2,9$ mmol/L en el primer día y de $24,2 \pm 3,7$ mmol/L en el segundo día, tras el consumo de producto.

Los sujetos que pertenecían al grupo con consumo de placebo terminaron con valores medios un poco inferiores al grupo experimental. En el primer día de prueba, los valores medios fueron de $20,4 \pm 3,3$ mmol/L y en el segundo día, los valores medios son de $19,2 \pm 3,5$ mmol/L.

Medición tras 3 min de recuperación (Anión Gap 4)

Los valores obtenidos tras los 3 min son muy similares a la tercera medición o un poco superiores. En el grupo experimental los valores medios son de $21,1 \pm 2,7$ mmol/L en el primer día y de $23,8 \pm 4,0$ mmol/L para el segundo día de prueba.

En el grupo con consumo de placebo los valores medios del primer día fueron de $20,1 \pm 2,4$ mmol/L y para el segundo día fue de $20,7 \pm 3,7$ mmol/L.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 28. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del anión Gap para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los momentos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Anión Gap B (mmol/L)	β -alanina	8,6 \pm 1,5	9,2 \pm 1,0	0,511	0,930
	Placebo	8,4 \pm 1,4	9,1 \pm 1,6	0,400	
Anión Gap 2 (mmol/L)	β -alanina	10,1 \pm 1,4	9,4 \pm 2,1	0,477	0,353
	Placebo	8,9 \pm 0,9	9,4 \pm 1,2	0,538	
Anión Gap 3 (mmol/L)	β -alanina	21,0 \pm 2,9	24,2 \pm 3,7	0,035	0,032
	Placebo	20,4 \pm 3,3	19,2 \pm 3,5	0,321	
Anión Gap 4 (mmol/L)	β -alanina	21,1 \pm 2,7	23,8 \pm 4,0	0,094	0,314
	Placebo	20,1 \pm 2,4	20,7 \pm 3,7	0,649	

Abreviaturas: B=basal; 2= previo a la contrarreloj; 3= final de la contrarreloj; 4= después de 3 min de recuperación tras terminar la contrarreloj. ¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo solamente se ha tenido en cuenta los valores en estado basal y justo en el momento en el que finalizó la contrarreloj.

Tabla 29. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del incremento de anión Gap para cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Δ (Basal - Final)	Δ (Basal - Final)		
Anión Gap (mmol/L)	β -alanina	12,40 \pm 1,95	15,00 \pm 3,51	0,107	0,047
	Placebo	11,98 \pm 2,64	10,07 \pm 3,36	0,182	

¹*p*: significación estadística al comparar el incremento de los valores de la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de los incrementos de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. En el momento inicial del estudio, ambos grupos son homogéneos para esta variable, ya que no se

encuentran diferencias significativas al comparar sus valores en estado basal. Además, la evolución de ambos grupos en la prueba 1 también muestra valores homogéneos ($p=0,777$).

- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo que ingirió el producto placebo aumentó los valores en ambas pruebas, aunque dicho incremento fue ligeramente superior en el primer día de prueba (1,91 mmol/L). La disminución de esta variable no muestra diferencias significativas ($p=0,182$).
 - Grupo experimental. En el grupo con consumo de β -alanina los incrementos son superiores en el segundo día de prueba. La diferencia entre ambas evoluciones es de 2,6 mmol/L. A pesar de estas diferencias, al tener en cuenta la evolución del grupo no muestran diferencias significativas ($p=0,107$), pero si se muestra una tendencia al aumento tras el consumo de la suplementación.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución del incremento de los grupos, si se pueden observar diferencias significativas tras una semana de consumo ($p<0,047$). Por lo que los sujetos con consumo de β -alanina consiguen finalizar la prueba con valores superiores sin que repercuta en su rendimiento físico, es decir, pueden soportar mejor la acidosis metabólica que les genera el ejercicio físico.

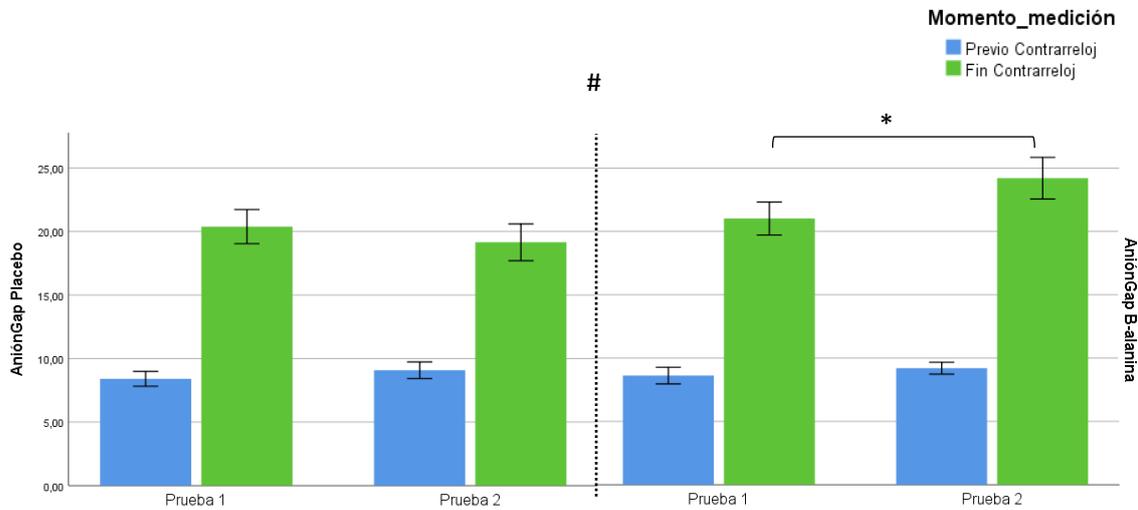


Figura 30. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del anión Gap para cada uno de los momentos analizados en cada prueba de contrarreloj con limitación temporal y para cada uno de los productos. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el momento final de cada una de las pruebas de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.4 CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN DE DISTANCIA

5.4.1 Variables de rendimiento

5.4.1.1 Tiempo global

El tiempo que tardan en recorrer los 4,5 km del Coll de Rates los sujetos del grupo de consumo de placebo, el primer día que realizaron la prueba, fue de $623,3 \pm 17,0$ segundos. Tras la semana de consumo de producto y de entrenamientos intensivos, los valores medios aumentaron a $635,3 \pm 25,6$ segundos.

El grupo con consumo de β -alanina comenzó el estudio con valores medios de $611,7 \pm 23,0$ segundos, y lo finalizó con valores inferiores, siendo su media de $581,6 \pm 45,9$ segundos.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 30. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del tiempo global de cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia.

		Inicio	Final	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Tiempo (s)	β-alanina	611,7 ± 23,0	581,6 ± 45,9	0,039	0,035
	Placebo	623,3 ± 17,0	635,3 ± 25,6	0,321	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al tener en cuenta los valores iniciales de ambos grupos, se puede determinar que son grupos homogéneos para esta variable, ya que no se aprecian diferencias ($p=0,359$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los sujetos con consumo de placebo no muestran diferencias significativas ($p=0,321$) para esta variable. Este grupo, tras la semana de suplementación y los entrenamientos intensivos empeoró en 9 segundos.
 - Grupo experimental. Al tener en cuenta la evolución de este grupo se puede determinar que hay diferencias significativas ($p<0,039$) para la variable de tiempo. Los sujetos con consumo de β-alanina mejoraron en 30 segundos (4,92%).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos, también se observan diferencias significativas ($p<0,035$), por lo que el grupo que ha consumido producto experimental mejora de forma considerable el tiempo en el que recorren los 4,5 km de contrarreloj.

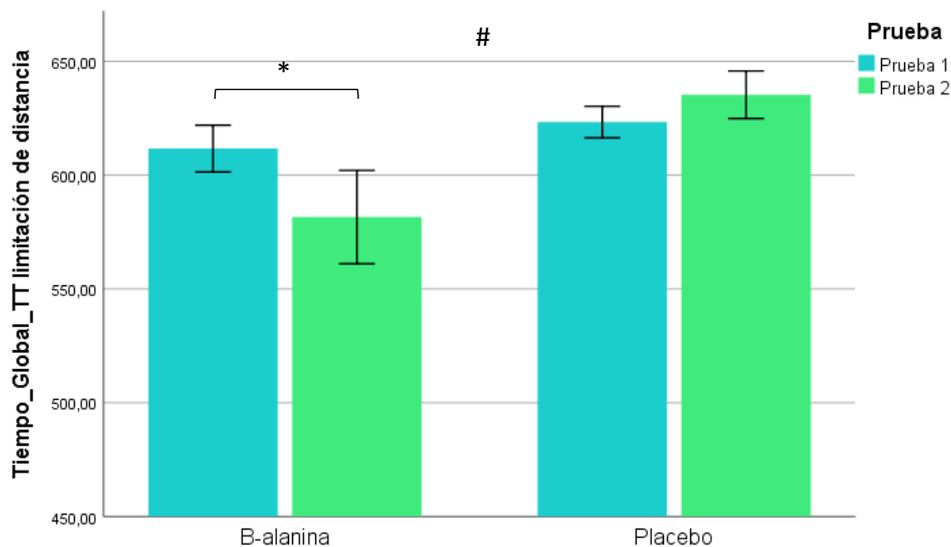


Figura 31. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del tiempo global de cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.4.1.2 Tiempo por tramos

Cada una de las variables analizadas relacionadas con el rendimiento de esta contrarreloj fue dividida en 9 tramos diferentes, englobando cada uno de ellos un total de 500 m.

En las siguientes figuras se puede observar el tiempo acumulado en cada uno de los tramos. El grupo con ingesta de β -alanina obtiene valores inferiores en la prueba 2, desde el principio, pero obteniendo valores estadísticamente significativos a partir del tramo 7 hasta el final (tramo 7, $p < 0,047$; tramo 8, $p < 0,027$; tramo 9, $p < 0,039$) al comparar los datos obtenidos para cada uno de los tiempos.

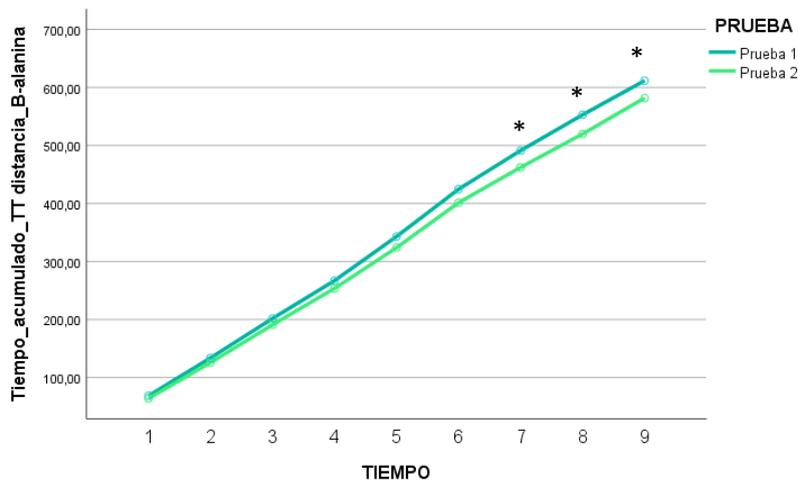


Figura 32. Tiempo acumulado de la prueba del Coll de Rates en las dos pruebas realizadas en el grupo con consumo de β -alanina. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada tramo.

Al observar el tiempo acumulado en el que desarrollan la prueba el grupo control, se puede observar que los valores son superiores en la prueba 2, es decir, tardan más tiempo en realizar la contrarreloj. Los valores son estadísticamente significativos al inicio de la prueba, a partir del segundo tramo (tramo 2, $p < 0,050$; tramo 3, $p < 0,032$; tramo 4, $p < 0,043$). El tramo 5 no muestra diferencias significativas, pero se encuentra en línea con los tramos anteriores ($p = 0,066$), al comparar los datos obtenidos para cada uno de los tiempos.

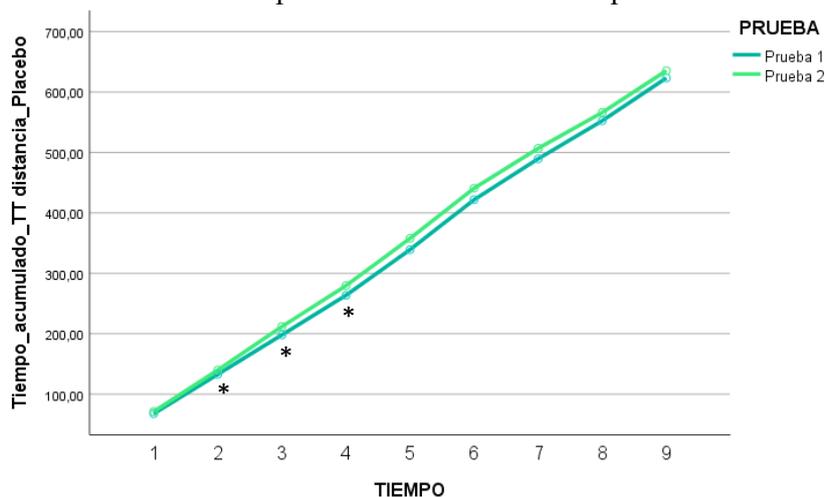


Figura 33. Tiempo acumulado de la prueba del Coll de Rates en las dos pruebas realizadas en el grupo con consumo de placebo. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada tramo.

Teniendo en cuenta el tiempo en el que recorren cada uno de los tramos de 500 m se puede observar que los sujetos con consumo de β -alanina disminuyen el tiempo en cada uno de ellos. En el primer día de prueba los sujetos recorren cada tramo con una media de $67,97 \pm 7,0$ segundos, sin embargo, tras la semana de suplementación los valores disminuyen 3,36 segundos, obteniendo valores medios de $64,61 \pm 5,89$ segundos.

Tabla 31. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del tiempo en el que recorren cada tramo, en cada una de las pruebas de la contrarreloj con limitación de distancia.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Tiempo de cada tramo (s)	Tramo 1	β -alanina	$68,6 \pm 5,0$	$64,0 \pm 5,7$	$-4,6 \pm 5,9$	0,139	0,063
		Placebo	$67,7 \pm 5,0$	$71,2 \pm 4,3$	$3,5 \pm 6,5$	0,205	
	Tramo 2	β -alanina	$65,2 \pm 2,4$	$61,8 \pm 2,7$	$-3,4 \pm 3,2$	0,010	0,001
		Placebo	$65,2 \pm 2,9$	$68,7 \pm 2,3$	$3,5 \pm 1,4$	0,005	
	Tramo 3	β -alanina	$68,0 \pm 2,8$	$65,1 \pm 4,9$	$-2,9 \pm 4,5$	0,316	0,028
		Placebo	$65,2 \pm 4,2$	$72,0 \pm 5,1$	$6,8 \pm 7,2$	0,023	
	Tramo 4	β -alanina	$65,2 \pm 1,5$	$62,7 \pm 3,8$	$-2,5 \pm 4,3$	0,165	0,066
		Placebo	$65,5 \pm 2,7$	$67,7 \pm 3,7$	$2,2 \pm 3,1$	0,184	
	Tramo 5	β -alanina	$76,0 \pm 3,1$	$70,2 \pm 7,3$	$-5,8 \pm 8,1$	0,065	0,050
		Placebo	$75,7 \pm 1,9$	$78,3 \pm 3,6$	$2,7 \pm 4,0$	0,319	
	Tramo 6	β -alanina	$81,6 \pm 4,0$	$77,4 \pm 6,7$	$-4,2 \pm 7,0$	0,110	0,191
		Placebo	$82,7 \pm 2,3$	$83,0 \pm 4,0$	$0,3 \pm 3,3$	0,880	
	Tramo 7	β -alanina	$66,6 \pm 2,8$	$60,9 \pm 5,3$	$-5,7 \pm 4,0$	0,015	0,152
		Placebo	$67,7 \pm 2,1$	$66,0 \pm 4,9$	$-1,7 \pm 4,4$	0,358	

Continuación Tabla 31.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	p -valor 1	p -valor 2
Tiempo tramo (s)	Tramo 8	β-alanina	61,6 \pm 2,6	57,6 \pm 2,3	-4,0 \pm 2,1	0,036
		Placebo	63,0 \pm 3,1	59,3 \pm 3,7	-3,7 \pm 4,5	0,036
	Tramo 9	β-alanina	58,9 \pm 15,5	61,8 \pm 10,0	2,9 \pm 12,9	0,488
		Placebo	70,8 \pm 1,5	69,2 \pm 4,0	-1,7 \pm 3,3	0,659

¹ p : significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada uno de los tramos; ² p : significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada uno de los tramos.

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al tener en cuenta los valores iniciales de ambos grupos, se puede determinar que son grupos homogéneos para esta variable en cada uno de los tramos, ya que no se aprecian diferencias significativas (tramo 1, $p=0,767$; tramo 2, $p=0,984$; tramo 3, $p=0,230$; tramo 4, $p=0,832$; tramo 5, $p=0,829$; tramo 6, $p=0,596$; tramo 7, $p=0,484$; tramo 8, $p=0,444$; tramo 9, $p=0,091$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los sujetos con consumo de placebo aumentan el tiempo en el que recorren los tramos, pero no en todos los tramos. El aumento de tiempo ocurre en todos los tramos excepto en los tramos 7, 8 y 9 donde los sujetos realizan mejor tiempo en la prueba 2. Solamente se puede determinar que los cambios son estadísticamente significativos en el tramo 2 ($p<0,005$) y tramo 3 ($p<0,023$), en relación al aumento de tiempo y en el tramo 8 ($p<0,036$) en relación a la mejora del tiempo.
 - Grupo experimental. Al tener en cuenta la evolución de este grupo podemos observar que mejoran el tiempo en cada uno de los tramos, excepto en el último, donde los sujetos aumentan el tiempo en $2,9 \pm 12,9$ s, pero no es estadísticamente significativo ($p=0,488$). Existen

tres tramos donde la mejoría del tiempo es significativa, y por lo que puede determinar que el consumo de producto mejora en dichos momentos (tramo 2, $p < 0,010$; tramo 7, $p < 0,015$; tramo 8, $p < 0,036$).

- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos, también se observan diferencias significativas en diferentes tramos (tramo 2, $p < 0,001$; tramo 3, $p < 0,028$; tramo 5, $p < 0,050$). En los tramos 1 ($p = 0,063$) y 4 ($p = 0,066$) no se encuentran diferencias significativas, pero si se observa una tendencia a la misma.

De forma global, al tener en cuenta la evolución de cada uno de los tramos, y la evolución de cada uno de los productos, se puede determinar que existen diferencias significativas ($p < 0,050$), y que por tanto el grupo con consumo de producto experimental mejoran para esta variable.

Estas diferencias ya se encontraban al evaluar los resultados obtenidos al evaluar el tiempo global empleado en recorrer la distancia establecida, donde el consumo de β -alanina mejoró significativamente esta variable.

En la siguiente figura se puede observar los incrementos de tiempo en cada uno de los tramos. Al igual que lo comentado anteriormente, los 5 primeros tramos se determina una mayor diferencia entre ambos grupos, pero es a partir del tramo 7 donde comienzan a comportarse al revés, el grupo con consumo de β -alanina comienza a requerir de más tiempo para recorrer los últimos tramos de 500 m y el grupo con consumo de placebo comienza a disminuir el tiempo.

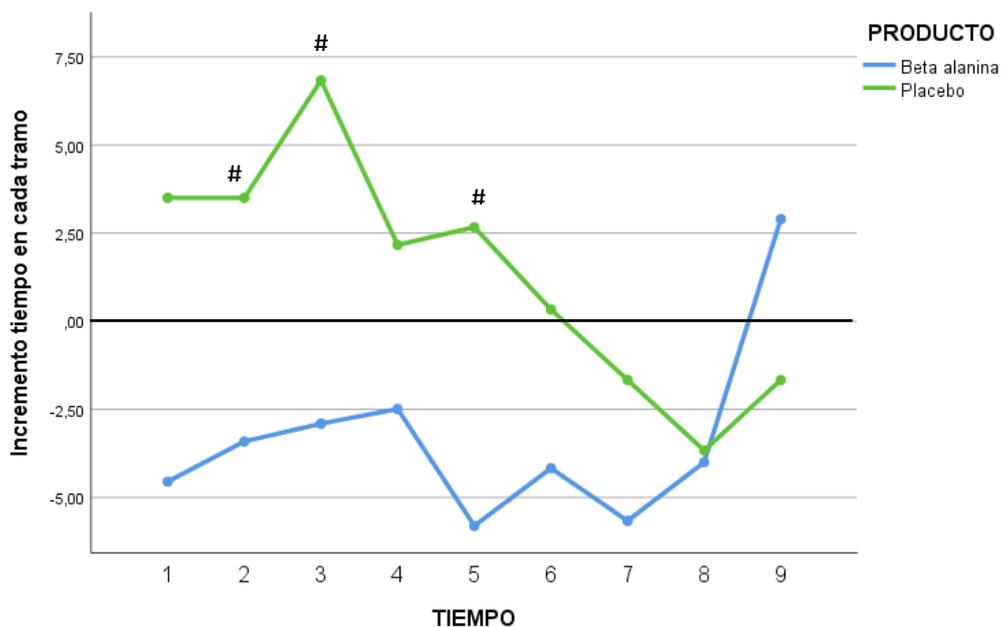


Figura 34. Incremento del tiempo en cada uno de los tramos de la prueba de contrarreloj con limitación de distancia en cada uno de los grupos de producto. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada tramo.

5.4.1.3 Potencia relativa

La potencia relativa permite comparar los ritmos de los ciclistas que tienen características físicas diferentes. Es decir, es la potencia que hace que dos ciclistas de diferente peso suban un puerto a la misma velocidad.

En la prueba 1 ambos grupos parten de valores muy similares, observamos que la media del grupo control es de $5,76 \pm 0,15$ W/Kg y el grupo experimental de valores de $5,94 \pm 0,25$ W/Kg.

Después de 7 días de ingesta de suplementación, el grupo control finaliza el estudio con valores de $5,67 \pm 0,24$ W/Kg. El grupo experimental consigue obtener valores más elevados tras el consumo, siendo éstos de $6,05 \pm 0,26$ W/Kg.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 32. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia relativa en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia.

		Inicio	Final	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Potencia relativa (W/Kg)	β-alanina	5,94 ± 0,25	6,05 ± 0,26	0,086	0,033
	Placebo	5,76 ± 0,15	5,67 ± 0,24	0,139	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Ambos grupos son homogéneos ya que parten de valores similares en el instante inicial del estudio ($p=0,180$)
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo que perteneció al grupo placebo disminuyó los valores entre una prueba y otra en 0,09 W/Kg. Estas modificaciones no son estadísticamente significativas ($p=0,139$).
 - Grupo experimental. Al tener en cuenta el grupo de ciclistas que consumen β-alanina, tampoco se aprecian diferencias significativas ($p=0,086$) en la evolución de esta variable tras el consumo de este producto, pero el aumento de 0,12 W/Kg hace que si se pueda resaltar una tendencia al aumento de potencia relativa en este grupo.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución del grupo placebo y el grupo experimental, se pueden observar diferencias significativas ($p<0,033$). A pesar de que los cambios son mínimos, dichos cambios repercuten significativamente en esta variable, y por tanto se puede determinar que el consumo de producto experimental mejora la potencia relativa después de una semana de consumo.

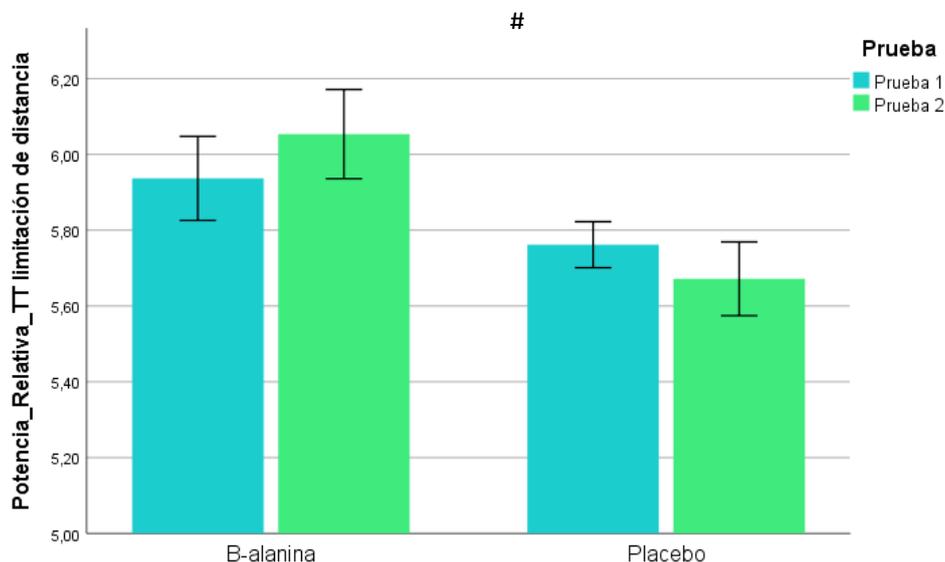


Figura 35. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la potencia relativa analizada de manera global en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

5.4.1.4 Potencia media global

La potencia media con la que recorren la contrarreloj el primer día de prueba fue de $443,7 \pm 27,6$ W en el grupo experimental y de $440,8 \pm 39,9$ W en el grupo placebo.

Después del consumo y acumulación de los 155 g de β -alanina, el grupo experimental finaliza con valores medios de $465,1 \pm 37,7$ W. Con respecto al grupo con consumo de placebo sus valores son un poco inferiores a los alcanzados en el primer día de prueba, siendo estos de $437,1 \pm 32,2$ W.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 33. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia media analizada de manera global en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia.

		Inicio	Final	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Potencia media (W)	β-alanina	443,7 ± 27,6	465,1 ± 37,7	0,050	0,090
	Placebo	440,8 ± 39,9	437,1 ± 32,2	0,687	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Teniendo en cuenta los valores iniciales de esta variable, para ambos grupos, se puede determinar que son grupos homogéneos porque no se aprecian diferencias ($p=0,894$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los ciclistas que se encontraron en este grupo disminuyeron sus valores medios en la prueba 2 en 3,7 W. Pero estos cambios no muestran diferencias significativas ($p=0,687$).
 - Grupo experimental. Al observar los sujetos con consumo de producto experimental, si se pueden observar diferencias estadísticamente significativas ($p<0,050$). Los sujetos de este grupo aumentan la potencia media en 21,4 W en la prueba 2 en relación con la primera prueba realizada antes del consumo de producto.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los dos grupos de estudio, no se puede establecer que haya diferencias significativas ($p=0,090$). Esto determina que, aunque el grupo experimental mejora significativamente, estas mejoras no se les puede atribuir al producto en investigación. A pesar de esto, las diferencias encontradas entre ambos productos determinan una tendencia a la significancia.

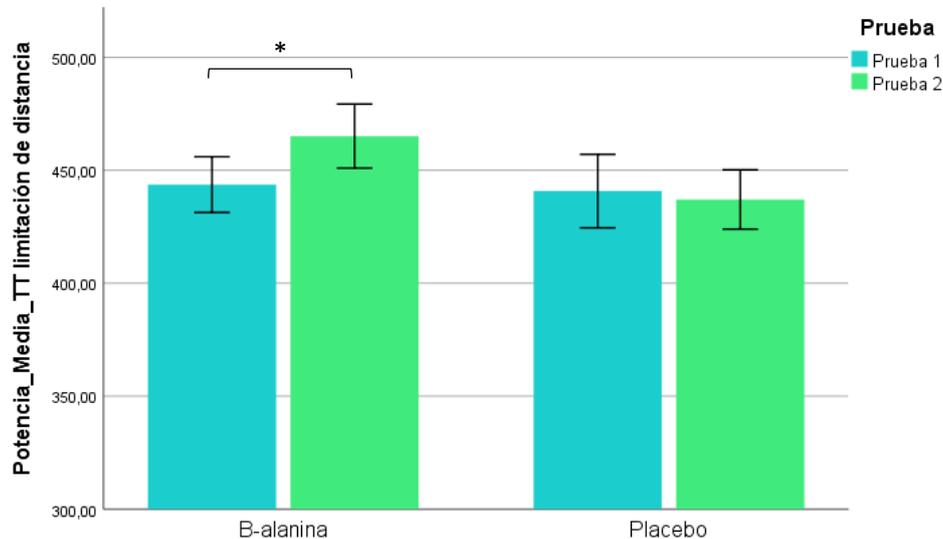


Figura 36. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la variable de potencia media analizada de manera global en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.4.1.5 Potencia por tramos

Para esta variable también se dividió la prueba en 9 tramos diferentes, con el objetivo de determinar en qué momento de la prueba los sujetos con consumo de β -alanina producen más W y si es posible relacionarlo con el efecto del producto.

En las siguientes figuras se observa la media de potencia en cada uno de los tramos recorridos por los ciclistas. En la figura de los sujetos con consumo de producto experimental, se puede observar que los valores son superiores en todos los tramos en la segunda prueba, excepto en el tramo 5 y 6 que son mayores las medias en la primera prueba. Además, se puede observar que la potencia en la segunda prueba es mucho más regular que en la primera prueba. Al tener en cuenta las diferencias significativas, solo se puede determinar que existan en el tramo 1 ($p < 0,011$), aunque hay una tendencia a la misma en el último tramo recorrido ($p = 0,085$).

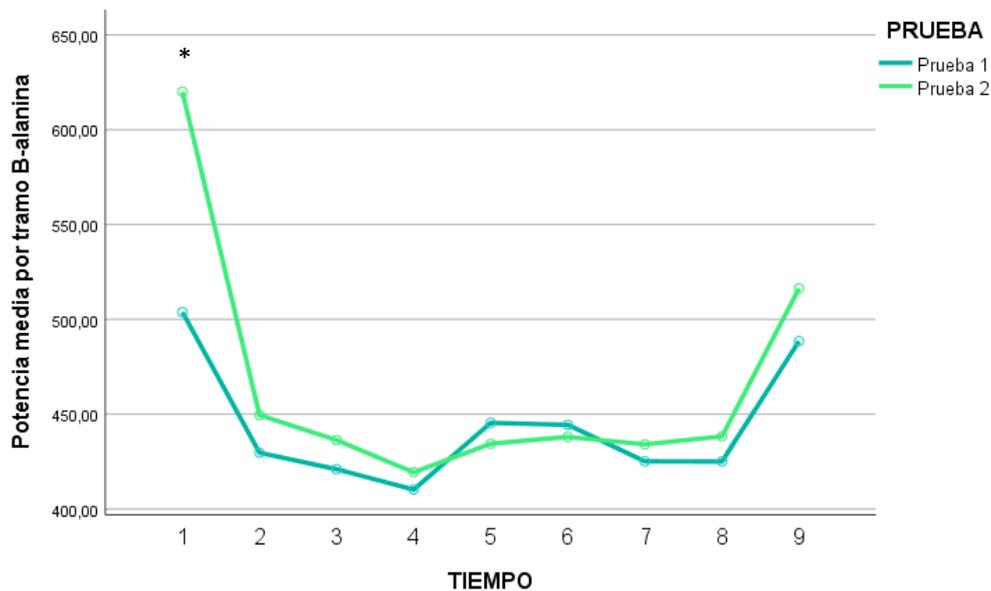


Figura 37. Potencia media de cada tramo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de β -alanina. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada tramo.

Al observar las dos pruebas realizadas por el grupo control, no se observan diferencias significativas en ninguno de los tramos. El único punto que muestra una tendencia a la significancia es el tramo 3 ($p=0,078$). A pesar de no encontrar diferencias entre ambas pruebas, se puede observar que la media de potencia de las pruebas es mayor en la primera que realizan, excepto en los tramos 6, donde el incremento es de $4,7 \pm 20,1$ W, el tramo 7, donde realizan $15,7 \pm 52,2$ W más en la segunda prueba y el tramo 9 donde la potencia ejercida por los ciclistas es de entre $16,9 \pm 36,7$ W más con respecto a la primera prueba.

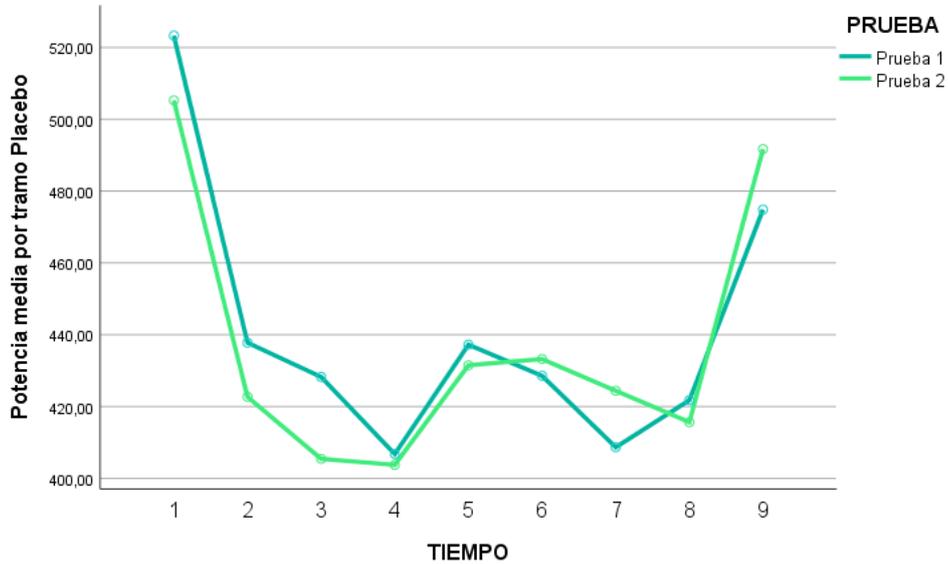


Figura 38. Potencia media de cada tramo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia en el grupo con consumo de placebo.

En la siguiente tabla se puede observar la potencia media que los ciclistas alcanzan en cada uno de los tramos y para cada uno de los productos en investigación. De forma general se puede observar que el grupo con consumo de placebo disminuye los valores medios en la segunda prueba, y el grupo con consumo de β -alanina realiza todo lo contrario.

Tabla 34. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia media de cada uno de los tramos, en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Potencia media (W)	Tramo 1	β -alanina	503,8 \pm 111,0	620,0 \pm 86,7	116,2 \pm 86,9	0,011	0,023
		Placebo	523,3 \pm 122,1	505,3 \pm 97,3	-18,0 \pm 76,2	0,599	
	Tramo 2	β -alanina	429,6 \pm 15,2	449,5 \pm 21,9	19,9 \pm 18,9	0,319	0,204
		Placebo	437,8 \pm 47,4	422,7 \pm 27,4	-15,1 \pm 53,9	0,404	
	Tramo 3	β -alanina	421,0 \pm 24,9	436,3 \pm 18,5	15,3 \pm 15,9	0,254	0,050
		Placebo	428,2 \pm 43,4	405,4 \pm 21,7	-22,8 \pm 35,0	0,078	

Continuación Tabla 34.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Potencia media (W)	Tramo 4	β -alanina	410,2 \pm 16,0	419,4 \pm 17,8	9,1 \pm 19,2	0,288	0,296
		Placebo	406,8 \pm 37,8	403,8 \pm 35,0	-3,0 \pm 17,1	0,694	
	Tramo 5	β -alanina	445,4 \pm 30,3	434,4 \pm 14,9	-11,0 \pm 17,7	0,236	0,664
		Placebo	437,2 \pm 35,2	431,5 \pm 33,6	-5,7 \pm 20,5	0,486	
	Tramo 6	β -alanina	444,4 \pm 22,7	438,0 \pm 25,6	-6,4 \pm 12,7	0,429	0,316
		Placebo	428,6 \pm 27,4	433,2 \pm 33,7	4,7 \pm 20,1	0,522	
	Tramo 7	β -alanina	425,1 \pm 22,1	434,1 \pm 46,8	9,0 \pm 33,0	0,664	0,809
		Placebo	408,7 \pm 30,9	424,4 \pm 66,5	15,7 \pm 52,2	0,411	
	Tramo 8	β -alanina	425,0 \pm 19,6	438,3 \pm 50,2	13,2 \pm 40,6	0,449	0,415
		Placebo	421,8 \pm 33,8	415,7 \pm 43,4	-6,1 \pm 34,5	0,698	
	Tramo 9	β -alanina	488,5 \pm 57,4	516,3 \pm 75,9	27,8 \pm 25,2	0,085	0,587
		Placebo	474,8 \pm 49,8	491,7 \pm 42,7	16,9 \pm 36,7	0,230	

¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada uno de los tramos; ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada uno de los tramos.

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Comparando el momento inicial, se puede observar que todos los tramos en la prueba 1 son homogéneos al comparar el grupo placebo y el grupo experimental, ya que no se aprecian diferencias significativas (tramo 1, *p*=0,790; tramo 2, *p*=0,724; tramo 3, *p*=0,749; tramo 4, *p*=0,853; tramo 5, *p*=0,692; tramo 6, *p*=0,331; tramo 7, *p*=0,347; tramo 8, *p*=0,853; tramo 9, *p*=0,682).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.

- Grupo control. Teniendo en cuenta cada uno de los 9 tramos se puede observar que el grupo placebo disminuye los niveles de potencia media en cada uno de los tramos, excepto en los tramos 6, 7 y 9, que hay un aumento. Estas modificaciones no presentan diferencias significativas.
- Grupo experimental. El grupo con consumo de producto experimental obtiene una media superior en cada uno de los tramos para esta variable, excepto para el tramo 5 y 6 que disminuyen los valores en $11,0 \pm 17,7$ W y $6,4 \pm 12,7$ W, respectivamente. Sin embargo, solamente se muestran datos significativos al comparar ambas pruebas en el tramo 1 ($p < 0,011$).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución anteriormente comentada de ambos grupos, se puede observar que existen diferencias significativas en dos tramos, en el tramo 1 ($p < 0,023$) y en el tramo 3 ($p < 0,050$). En estos dos tramos se puede determinar que el consumo de β -alanina mejora dichos valores en comparación con el grupo con consumo de placebo.

Al tener en cuenta la evolución de los grupos y de los tramos en su globalidad, se puede determinar que existen diferencias significativas ($p < 0,005$), y por tanto el grupo experimental mejora la potencia media realizada por los ciclistas en esta prueba.

Estas diferencias son las que permiten determinar que al comparar los resultados obtenidos de forma global si hay una tendencia a la significancia.

En la siguiente figura se observan los incrementos de potencia en cada uno de los tramos. Se puede observar diferencias significativas en los tramos 1 ($p < 0,023$) y tramo 3 ($p < 0,050$).

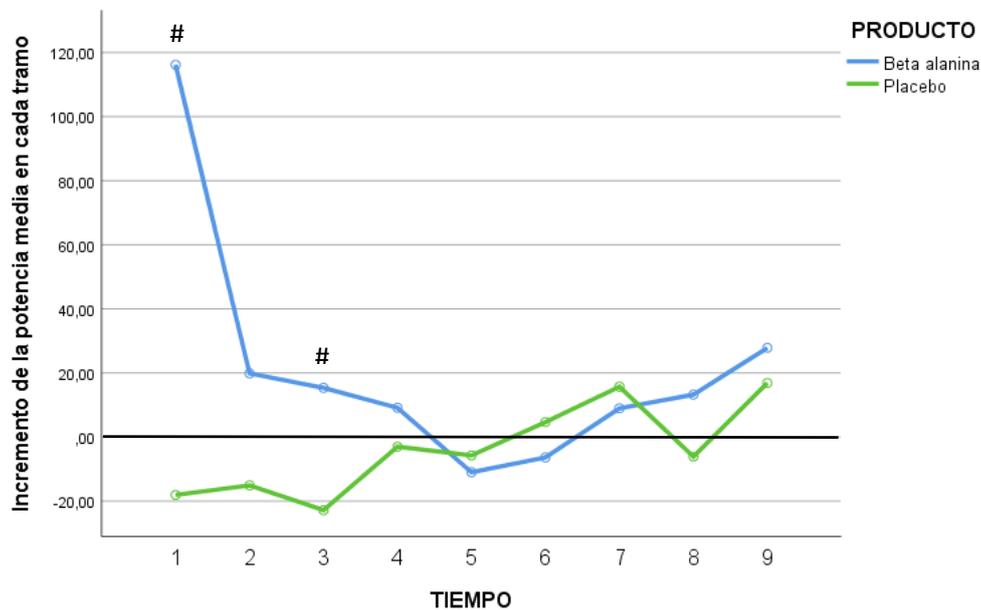


Figura 39. Incremento de la potencia media en cada uno de los tramos de la prueba de contrarreloj con limitación de distancia en cada uno de los grupos de producto. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada tramo.

5.4.1.6 Frecuencia cardiaca media global

La frecuencia cardiaca media global del grupo experimental en la primera prueba fue de $175,3 \pm 5,8$ lat/min, y en la segunda prueba obtuvo valores un poco superiores, siendo la media de $177,2 \pm 3,3$ lat/min.

Al observar el grupo control, se puede determinar que los valores iniciales son $3,3$ lat/min por encima que el grupo experimental. La media del primer día es de $178,6 \pm 5,2$ lat/min y en la segunda prueba, los valores disminuyen a valores medios de $174,5 \pm 7,7$ lat/min.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 35. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la frecuencia cardiaca analizada de manera global de cada una de las pruebas en la contrarreloj con limitación de distancia.

		Inicio	Final	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Frecuencia cardiaca (lat/min)	β-alanina	175,3 ± 5,8	177,2 ± 3,3	0,460	0,108
	Placebo	178,6 ± 5,2	174,5 ± 7,7	0,106	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al comparar los valores medios de la primera prueba de ambos grupos, se puede determinar que son grupos homogéneos para esta variable, ya que no se aprecian diferencias ($p=0,337$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Los sujetos con consumo de placebo no muestran diferencias significativas ($p=0,106$) para esta variable. Al tener en cuenta los valores medios globales, en la prueba 2 disminuyen la frecuencia cardiaca en 4,1 lat/min.
 - Grupo experimental. El grupo con consumo de placebo tampoco muestra diferencias significativas ($p=0,460$) al tener en cuenta los valores medios de ambas pruebas. Los valores en la segunda prueba aumentan en 1,9 lat/min.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos, no se observan diferencias significativas ($p=0,108$), por lo que no se puede determinar que el grupo que ha consumido producto experimental mejora de forma considerable la potencia con la que recorren los 4,5 km de contrarreloj.

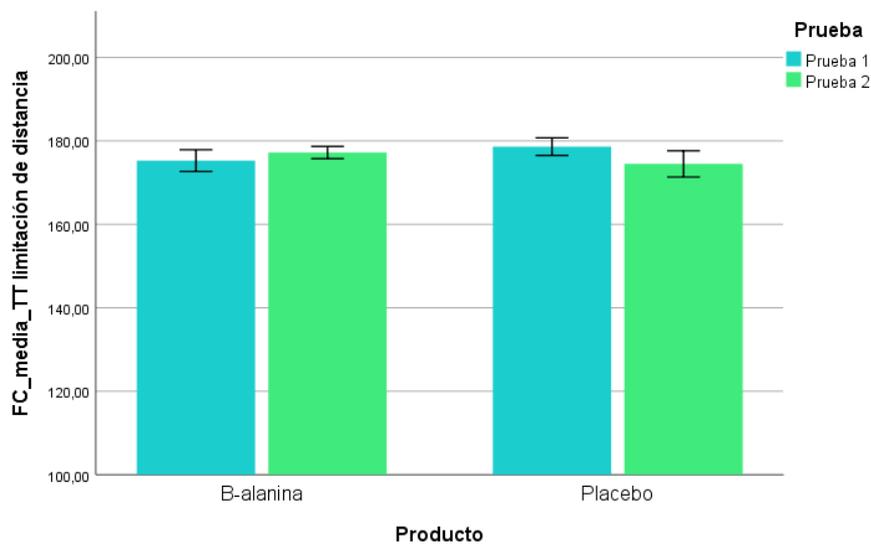


Figura 40. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la variable de frecuencia cardiaca media analizada de manera global de cada una de las pruebas en la contrarreloj con limitación de distancia.

5.4.1.7 Frecuencia cardiaca por tramos

Al observar la frecuencia cardiaca media en cada uno de los tramos en los que se dividió la contrarreloj del Coll de Rates, se puede determinar que el grupo con consumo de β -alanina obtiene valores medios superiores en la prueba 2 con respecto a la primera prueba realizada sin ninguna ingesta de suplementación, excepto en el tramo 8 donde los valores son muy similares ($p=0,970$).

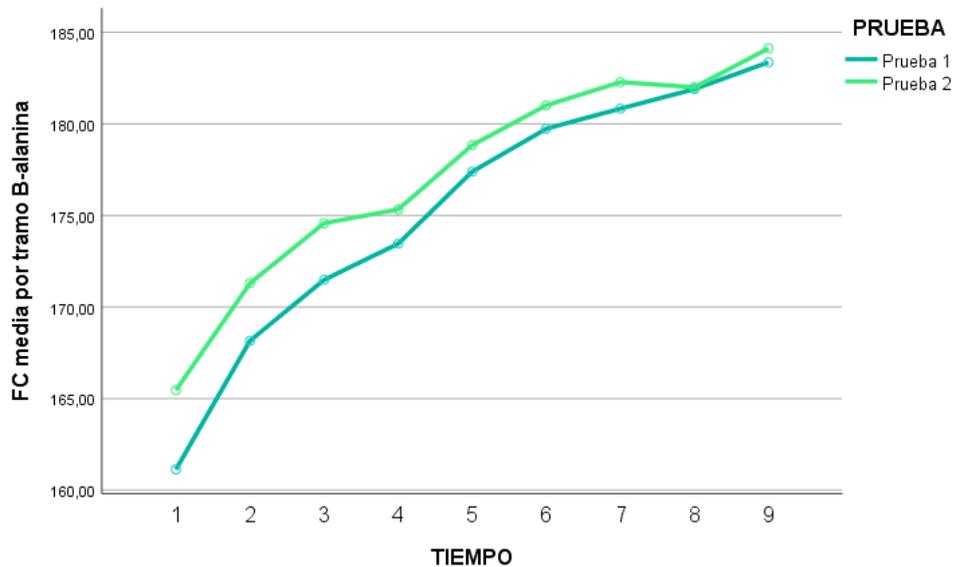


Figura 41. Frecuencia cardiaca media de cada tramo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia realizadas en el grupo con consumo de β -alanina.

En el grupo con consumo de placebo (Figura 42), ocurre todo lo contrario, los valores medios son superiores en la prueba inicial, y disminuye en todos los tramos de la contrarreloj después de la semana de suplementación, excepto en los últimos tramos (tramo 7, $p=0,417$; tramo 8, $p=0,428$; tramo 9, $p=0,569$), donde los valores medios son similares a los alcanzados en la prueba 1.

La frecuencia cardiaca media de los ciclistas en cada uno de los tramos y para cada uno de los productos en investigación, se puede observar en la siguiente tabla. El grupo con consumo de placebo disminuye los valores en todos los tramos de 500 m, mientras que en el grupo de consumo de β -alanina, se registran aumentos.

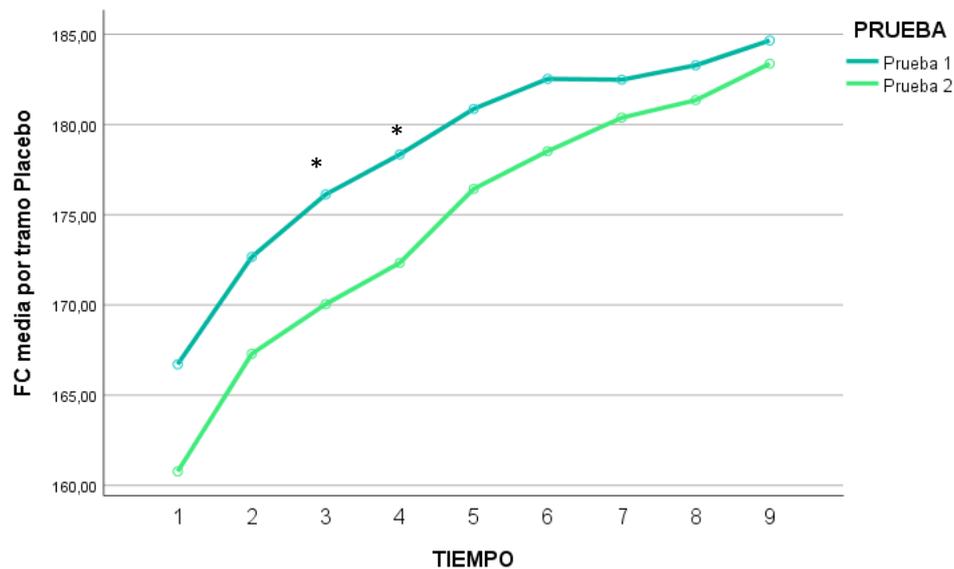


Figura 42. Frecuencia cardiaca media de cada tramo en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia realizadas en el grupo con consumo de placebo. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada tramo.

Tabla 36. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la frecuencia cardiaca media de cada uno de los tramos, en cada una de las pruebas de la contrarreloj con limitación de distancia.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	p -valor ¹	p -valor ²	
Frecuencia cardiaca media (lat/min)	Tramo 1	β -alanina	161,1 \pm 7,0	165,5 \pm 3,4	4,3 \pm 6,9	0,188	0,034
		Placebo	166,7 \pm 8,1	160,8 \pm 8,6	-5,9 \pm 6,7	0,061	
	Tramo 2	β -alanina	168,2 \pm 6,2	171,3 \pm 2,5	3,1 \pm 4,7	0,326	0,067
		Placebo	172,7 \pm 6,9	167,3 \pm 8,9	-5,4 \pm 8,1	0,084	
	Tramo 3	β -alanina	171,5 \pm 6,8	174,6 \pm 3,6	3,1 \pm 5,3	0,327	0,049
		Placebo	176,1 \pm 6,1	170,0 \pm 8,1	-6,1 \pm 7,6	0,050	
	Tramo 4	β -alanina	173,5 \pm 6,2	175,3 \pm 4,1	1,9 \pm 4,2	0,479	0,048
		Placebo	178,3 \pm 5,6	172,3 \pm 7,8	-6,0 \pm 6,6	0,029	

Continuación Tabla 36.

		Prueba 1	Prueba 2	Δ	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Frecuencia cardiaca media (lat/min)	Tramo 5	β -alanina	177,4 \pm 5,7	178,8 \pm 2,8	1,4 \pm 4,6	0,577	0,116
		Placebo	180,9 \pm 4,8	176,4 \pm 7,0	-4,4 \pm 6,3	0,084	
	Tramo 6	β -alanina	179,7 \pm 5,7	181,0 \pm 3,1	1,3 \pm 4,5	0,579	0,113
		Placebo	182,5 \pm 4,5	178,5 \pm 6,9	-4,0 \pm 5,3	0,079	
	Tramo 7	β -alanina	180,8 \pm 5,8	182,3 \pm 3,5	1,4 \pm 4,3	0,606	0,358
		Placebo	182,5 \pm 4,4	180,4 \pm 8,1	-2,1 \pm 7,1	0,417	
	Tramo 8	β -alanina	181,9 \pm 5,1	182,0 \pm 4,4	0,1 \pm 3,4	0,970	0,570
		Placebo	183,3 \pm 4,1	181,3 \pm 8,0	-1,9 \pm 7,0	0,428	
	Tramo 9	β -alanina	183,4 \pm 4,3	184,1 \pm 3,4	0,8 \pm 3,8	0,757	0,542
		Placebo	184,7 \pm 3,9	183,4 \pm 7,6	-1,3 \pm 6,3	0,569	

¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada uno de los tramos; ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada uno de los tramos.

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Los dos grupos parten de valores similares para esta variable en el primer día de prueba para cada uno de los tramos, no encontrando diferencias significativas en ninguno de ellos (tramo 1, *p*=0,258; tramo 2, *p*=0,290; tramo 3, *p*=0,263; tramo 4, *p*=0,205; tramo 5, *p*=0,301; tramo 6, *p*=0,385; tramo 7, *p*=0,605; tramo 8, *p*=0,631; tramo 9, *p*=0,613).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. El grupo con consumo de placebo disminuye la media de la frecuencia cardiaca a medida que recorren cada uno de los tramos al comprar ambas pruebas. Estas modificaciones

presentan diferencias significativas en algunos de los tramos, sobre todo en los primeros (tramo 3, $p < 0,050$; tramo 4, $p < 0,029$). Aunque no hay diferencias significativas, en algunos tramos se observa una tendencia a la misma (tramo 1, $p = 0,061$; tramo 2, $p = 0,084$; tramo 5, $p = 0,084$; tramo 6, $p = 0,079$).

- Grupo experimental. Al evaluar la evolución de este grupo podemos determinar que aumentan los valores de esta variable en cada uno de los tramos en los que se divide la contrarreloj, sin embargo, no se hayan diferencias significativas en ninguno de ellos. El incremento más notorio es de $4,3 \pm 6,9$ lat/min en el primer tramo recorrido.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos, si se pueden observar diferencias significativas en tres de los tramos (tramo 1, $p < 0,034$; tramo 3, $p < 0,049$; tramo 4, $p < 0,048$). En el segundo tramo también se puede determinar una tendencia a la disminución ($p = 0,067$). Con estos resultados se puede determinar que el consumo de β -alanina aumenta los valores de esta variable en la primera mitad de la contrarreloj.

Al tener en cuenta la evolución de cada uno de los tramos y de cada uno de los productos en investigación, se puede determinar que existen diferencias significativas ($p < 0,006$), y por tanto el grupo experimental aumenta la frecuencia cardiaca media realizada por los ciclistas en esta prueba.

En la siguiente figura se observan los incrementos de la frecuencia cardiaca media en cada uno de los tramos, siendo los primeros cuatro tramos donde se observan las diferencias más notorias entre ambos productos.

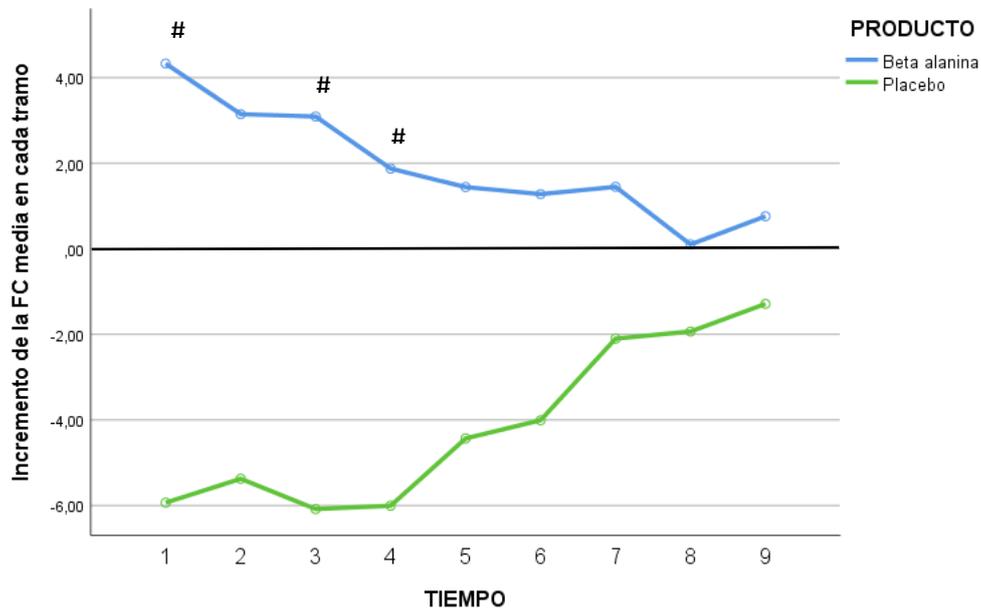


Figura 43. Incremento de la potencia media en cada uno de los tramos de la prueba de la contrarreloj con limitación de distancia en cada uno de los grupos de producto. # $p < 0,050$ cambios significativos al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada tramo.

5.4.1.8 Desnivel acumulado

Al igual que el resto de las variables se ha tenido en cuenta el desnivel acumulado en cada una de las pruebas, con el fin de poder determinar si puede ser el causante de alguno de los cambios encontrados en las variables anteriores.

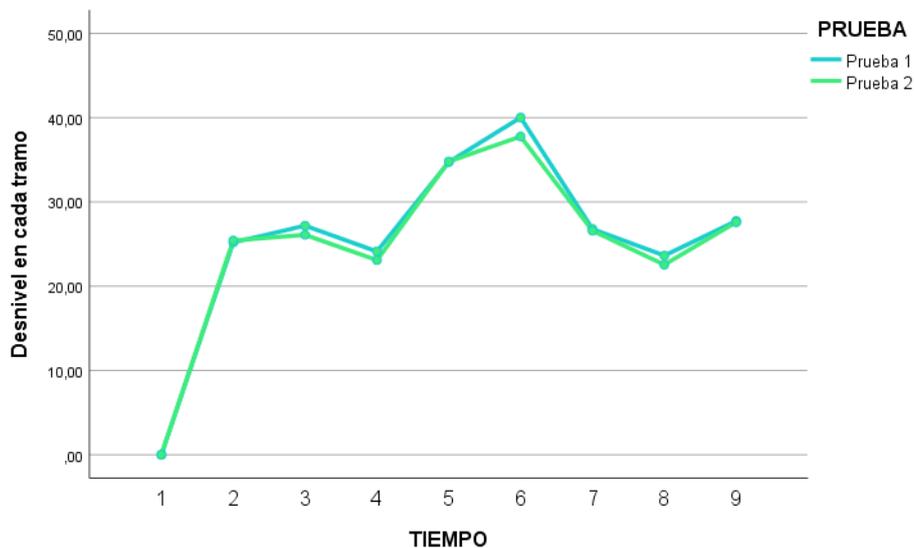


Figura 44. Desnivel de cada tramo de la prueba de contrarreloj con limitación de distancia en las dos pruebas realizadas.

En la prueba 1 la media del desnivel acumulado es de $490,0 \pm 80,7$ m y en la prueba 2 dicha media es de $497,0 \pm 78,9$ m, encontrando una diferencia de 7 m que no supone diferencias significativas.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 37. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del desnivel acumulado durante el desarrollo de la contrarreloj con limitación de distancia en cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Desnivel acumulado (m)	Tramo 1	β -alanina	$362,1 \pm 52,3$	$399,3 \pm 26,4$	0,171	
		Placebo	$388,2 \pm 17,9$	$374,4 \pm 22,3$	0,560	
	Tramo 2	β -alanina	$387,4 \pm 51,8$	$424,3 \pm 26,7$	0,175	0,270
		Placebo	$413,4 \pm 17,9$	$399,8 \pm 22,7$	0,568	

Continuación Tabla 37.

		Prueba 1	Prueba 2	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²	
Desnivel acumulado (m)	Tramo 3	β-alanina	414,9 ± 52,0	450,9 ± 27,1	0,186	0,593
		Placebo	440,6 ± 17,6	425,9 ± 22,7	0,540	
	Tramo 4	β-alanina	438,6 ± 51,4	474,1 ± 26,9	0,187	0,226
		Placebo	464,7 ± 17,7	449,0 ± 22,4	0,508	
	Tramo 5	β-alanina	472,8 ± 51,9	508,3 ± 27,3	0,192	0,872
		Placebo	499,4 ± 17,7	483,8 ± 22,5	0,514	
	Tramo 6	β-alanina	512,4 ± 52,1	546,2 ± 26,5	0,210	0,378
		Placebo	539,4 ± 17,9	521,6 ± 22,8	0,454	
	Tramo 7	β-alanina	539,9 ± 52,2	572,7 ± 26,8	0,225	0,203
		Placebo	566,2 ± 18,3	548,1 ± 23,0	0,453	
	Tramo 8	β-alanina	563,6 ± 51,6	595,8 ± 26,0	0,225	0,644
		Placebo	589,9 ± 18,4	570,7 ± 23,0	0,418	
	Tramo 9	β-alanina	587,2 ± 49,8	623,5 ± 25,8	0,167	0,063
		Placebo	617,6 ± 17,9	598,3 ± 23,0	0,403	

¹*p*: significación estadística al comparar la prueba 1 y la prueba 2 para cada uno de los grupos (test de Bonferroni) para cada uno de los tramos; ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)) para cada uno de los tramos.

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al tener en cuenta los valores iniciales de ambos grupos, se puede determinar que son grupos homogéneos para esta variable en cada uno de los tramos, ya que no se aprecian diferencias (tramo 1, *p*=0,279; tramo 2, *p*=0,277; tramo 3, *p*=0,282;

tramo 4, $p=0,270$; tramo 5, $p=0,266$; tramo 6, $p=0,262$; tramo 7, $p=0,274$; tramo 8, $p=0,271$; tramo 9, $p=0,194$).

- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Al evaluar la evolución del grupo con consumo de placebo se puede determinar que no existen diferencias significativas en ninguno de los tramos en los que se dividió ambas pruebas.
 - Grupo experimental. El grupo de sujetos con consumo de producto experimental tampoco mostraron cambios significativos en el desnivel acumulado entre cada una de las pruebas.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al tener en cuenta la evolución de ambos grupos, tampoco se observan diferencias significativas en ninguno de los tramos de ambas pruebas.

5.4.1.9 Percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

La percepción subjetiva del esfuerzo se recogió en dos momentos diferentes en cada una de las pruebas. El primer dato se recogió 30 segundos antes de comenzar la contrarreloj y la segunda justo al finalizar la misma.

En la primera prueba, los sujetos comenzaron con valores de $2,0 \pm 1,2$ en el grupo experimental y de $2,8 \pm 0,4$ en el grupo placebo. Al finalizar la contrarreloj los sujetos determinan que la muestra fue maximal terminando con valores de $9,2 \pm 0,4$ en el grupo experimental y de $10,0 \pm 0,0$ en el grupo placebo.

En el segundo día de prueba, los valores son muy similares presentando el grupo experimental valores de $2,0 \pm 1,4$ en el momento inicial y $9,8 \pm 0,4$ al finalizar la prueba. Los valores medios del grupo control fueron de $2,2 \pm 1,3$ antes de comenzar la prueba de contrarreloj y de $9,7 \pm 0,5$ al finalizar la misma.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 38. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la RPE para cada uno de los momentos analizados en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia y para cada uno de los productos.

	Prueba 1			Prueba 2			<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
	Inicio	Fin	Δ	Inicio	Fin	Δ		
β-alanina	2,0 ± 1,2	9,2 ± 0,4	7,2 ± 1,1	2,0 ± 1,4	9,8 ± 0,4	7,8 ± 1,6	0,418	0,787
Placebo	2,8 ± 0,4	10,0 ± 0,0	7,2 ± 0,4	2,2 ± 1,3	9,7 ± 0,5	7,5 ± 1,6	0,618	

¹*p*: significación estadística al comparar el final de ambas pruebas para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² *p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo) para el valor final).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Al tener en cuenta el incremento en cada una de las pruebas, se puede determinar que los sujetos parten de valores similares, ya que no se encuentran diferencias significativas ($p=0,946$).
Si se tiene en cuenta el momento inicial de ambas pruebas para ambos grupos también se puede determinar que son homogéneos para esta variable ($p=0,149$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. En relación al incremento de la percepción subjetiva del esfuerzo entre ambas mediciones y ambos días, los sujetos no muestran valores medios significativos, por lo que se puede considerar que los sujetos realizan las pruebas en el mismo nivel ($p=0,618$).
Si se observa la segunda medición por separado también se puede observar que no hay diferencias significativas entre pruebas ($p=0,158$).
 - Grupo experimental. El grupo con consumo de β-alanina muestra diferencias significativas ($p<0,032$) al tener en cuenta los valores con los que terminan ambos días de pruebas. A pesar de que ambas pruebas son maximales, la diferencia de 0,6 en la escala final

determina que los sujetos tienen una percepción de haber rendido más en la segunda prueba.

Al tener en cuenta la evolución de los incrementos entre ambos días, no se observan diferencias estadísticamente significativas ($p=0,418$).

- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. El incremento de la evolución de los incrementos de la percepción del esfuerzo tampoco muestra diferencias significativas ($p=0,787$).

Sin embargo, al evaluar la evolución de la segunda medición realizada, es decir, en el momento en el que los sujetos finalizan la prueba de contrarreloj, si se puede determinar que hay diferencias significativas en dicha evolución ($p<0,017$).

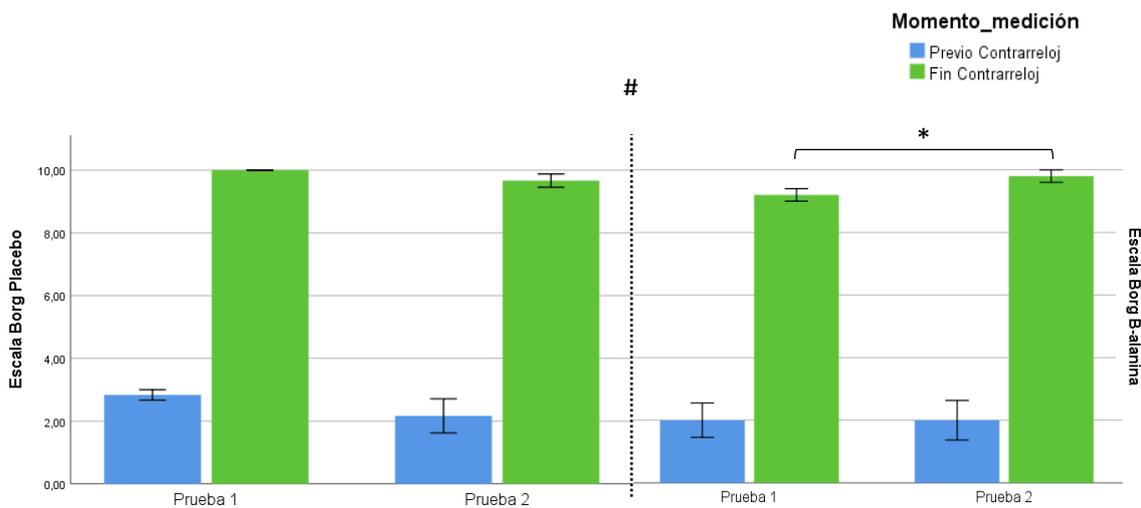


Figura 45. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la RPE para cada uno de los momentos analizados en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia y para cada uno de los productos.

5.4.2 Variables bioquímicas

5.4.2.1 Lactacidemia

La única variable bioquímica medida en esta prueba de contrarreloj fue el lactato en sangre. Fue medida en tres ocasiones en cada una de las pruebas,

siendo los valores iniciales en la prueba 1 de $1,8 \pm 0,9$ mmol/L en el grupo experimental y de $2,2 \pm 0,7$ mmol/L en el grupo placebo. Al finalizar la primera prueba, justo en el momento de llegada los valores de lactato fueron de $11,3 \pm 1,8$ mmol/L en el grupo experimental, los cuales disminuyeron sus valores a una media de $10,1 \pm 2,0$ mmol/L tras 3 min de recuperación. En el grupo control los valores con los que terminaron la prueba fueron de $13,2 \pm 4,3$ mmol/L y disminuyeron a valores muy similares al otro grupo, siendo estos de $10,7 \pm 3,9$ mmol/L tras la recuperación.

Al cabo de una semana de suplementación, en la segunda contrarreloj llevada a cabo por los sujetos, el grupo experimental comienza la prueba con una media de $2,1 \pm 0,9$ mmol/L, finalizando los 4,5 km con valores medios de $11,6 \pm 2,7$ mmol/L. Tras los 3 min de recuperación estos valores se incrementan hasta los $13,3 \pm 3,2$ mmol/L. Al observar el grupo control, los valores iniciales de la prueba fueron de $1,8 \pm 1,0$ mmol/L. Después de realizar la contrarreloj los sujetos mostraron valores medios inferiores a los obtenidos en la prueba 1, siendo esta media de $10,7 \pm 4,3$ mmol/L, y tras la recuperación valores de $10,4 \pm 3,5$ mmol/L.

Los datos estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 39. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del lactato para cada uno de los momentos analizados en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia y para cada uno de los productos.

		Prueba 1			Prueba 2			<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
		Inicio	Fin	3' recup	Inicio	Fin	3' recup		
Lactato (mmol/L)	β-alanina	$1,8 \pm 0,9$	$11,3 \pm 1,8$	$10,1 \pm 2,0$	$2,1 \pm 0,9$	$11,6 \pm 2,7$	$13,3 \pm 3,2$	0,779	0,075
	Placebo	$2,2 \pm 0,7$	$13,2 \pm 4,3$	$10,7 \pm 3,9$	$1,8 \pm 1,0$	$10,7 \pm 4,3$	$10,4 \pm 3,5$	0,025	

¹*p*: significación estadística al comparar el final de ambas pruebas para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ² *p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo) para el valor final).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. El momento inicial de ambas pruebas determina que los dos grupos son homogéneos en el punto

de salida de la prueba, ya que no se observan diferencias significativas entre ellos ($p=0,467$).

- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo control. Al comparar la evolución de ambas pruebas para el punto final de la prueba, se puede observar que existen diferencias significativas ($p<0,025$) para este grupo. Esto ocurre así porque este grupo disminuye sus valores finales en 2,5 mmol/L. Si se tiene en cuenta la disminución de valores en los 3 min de recuperación, y se comparan ambas mediciones de cada prueba se puede observar que no hay diferencias significativas ($p=0,076$) pero si una tendencia a la significancia en la prueba 1, y en la prueba 2 tampoco ($p=0,805$).
 - Grupo experimental. El grupo experimental aumenta los valores finales entre una prueba y otra en 0,3 mmol/L, pero no supone modificaciones significativas al comparar ambas evoluciones ($p=0,779$). Al determinar los 3 min de recuperación se puede ver que este grupo aumenta los valores en 3,2 mmol/L entre ambas pruebas, además, en la prueba 2 en lugar de disminuir, los sujetos obtienen valores superiores a los obtenidos al finalizar la prueba de contrarreloj. A pesar de esto, al comparar las dos últimas mediciones no se observan diferencias significativas ($p=0,402$ para la prueba 1; $p=0,197$ para la prueba 2).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al evaluar el valor de lactato en el momento final de la prueba de ambos grupos y de ambas pruebas no se puede determinar que haya diferencias significativas ($p=0,075$), pero si se puede decir que hay una tendencia a la misma, debido a la disminución que se observa en los valores de lactato en el grupo placebo.

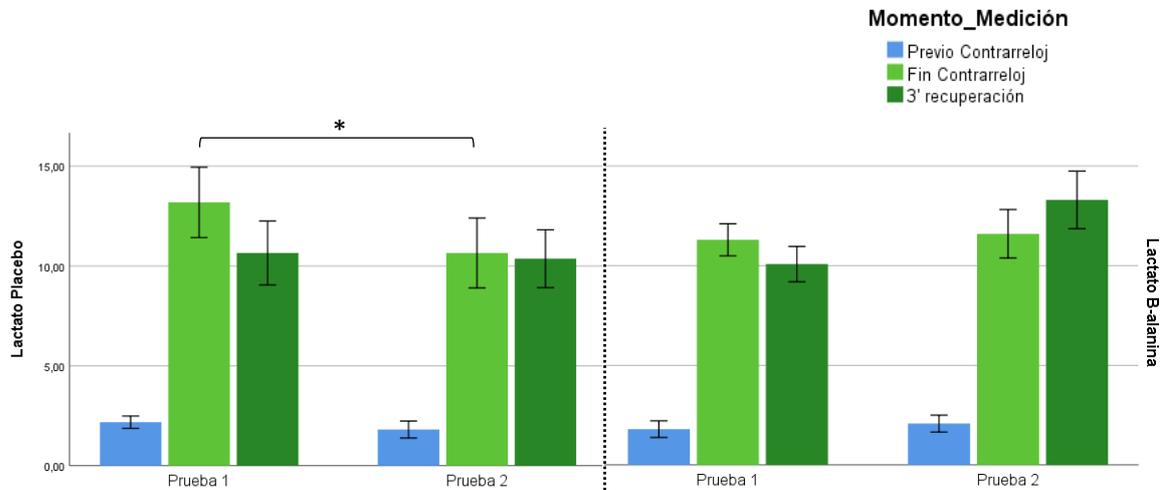


Figura 46. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del lactato para cada uno de los momentos analizados en cada una de las pruebas de contrarreloj con limitación de distancia y para cada uno de los productos. * $p < 0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.5 CARGA DE ENTRENAMIENTO

Durante la semana de consumo de producto los ciclistas realizaron un entrenamiento intensivo, donde los días 3 y 7 realizaron un entrenamiento regenerativo.

A continuación, se presenta de forma detallada cada una de las variables analizadas del entrenamiento con el objetivo de determinar que los dos grupos de estudio realizan los mismos entrenamientos y por tanto llegan a la segunda prueba con la misma carga y fatiga.

5.5.1 Duración de los entrenamientos

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos de la duración de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 40. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la duración de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β-alanina	Placebo		
Duración entrenamientos (horas)	Día 1	4,94 ± 0,25	5,16 ± 0,28	5,06 ± 0,28	0,210
	Día 2	5,50 ± 0,06	5,50 ± 0,01	5,50 ± 0,04	0,776
	Día 3	1,57 ± 0,05	1,74 ± 0,34	1,66 ± 0,26	0,286
	Día 4	4,68 ± 0,24	4,55 ± 0,29	4,61 ± 0,26	0,455
	Día 5	4,80 ± 0,96	4,80 ± 1,38	4,80 ± 1,15	0,994
	Día 6	4,33 ± 0,80	3,90 ± 0,54	4,10 ± 0,67	0,313
	Día 7	1,53 ± 0,08	1,47 ± 0,14	1,50 ± 0,11	0,380

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Al observar los datos mostrados se puede determinar que todos los entrenamientos son homogéneos, ya que no se encuentran diferencias significativas al comparar los dos grupos de consumo para cada uno de los días.

Al evaluar la evolución de la duración de los 7 días de entrenamiento en relación al producto consumido tampoco se puede determinar que haya diferencias significativas ($p=0,709$), por lo que los dos grupos mantienen una media similar durante la semana.

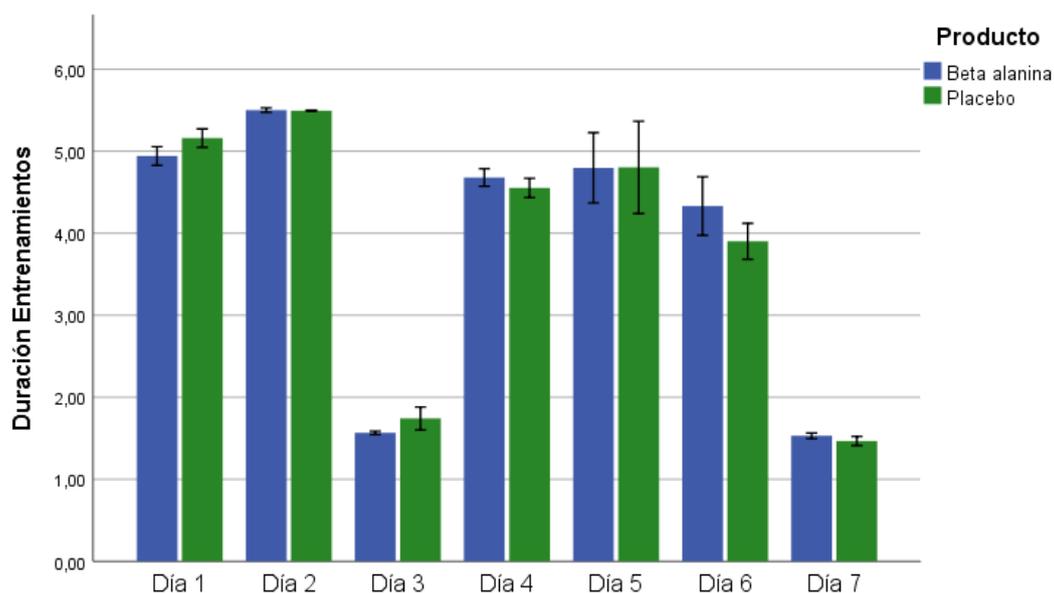


Figura 47. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la duración de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.2 Distancia de los entrenamientos

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos de la distancia de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 41. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la distancia de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β-alanina	Placebo		
Distancia (km)	Día 1	156,4 ± 7,8	162,5 ± 8,2	159,7 ± 8,3	0,242
	Día 2	164,4 ± 0,5	164,1 ± 0,9	164,2 ± 0,8	0,489
	Día 3	46,1 ± 4,4	54,7 ± 9,2	50,8 ± 8,4	0,093
	Día 4	151,5 ± 8,5	146,6 ± 12,0	148,8 ± 10,4	0,462

Continuación Tabla 41.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β -alanina	Placebo		
Distancia (km)	Día 5	157,0 \pm 30,5	156,2 \pm 49,0	156,5 \pm 39,6	0,977
	Día 6	148,4 \pm 33,2	133,1 \pm 18,4	140,0 \pm 25,9	0,357
	Día 7	43,9 \pm 0,7	41,9 \pm 5,6	42,8 \pm 4,1	0,442

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Todos los datos son homogéneos al tener en cuenta los dos grupos del estudio para cada uno de los días de entrenamiento, lo que determina que los sujetos realizan distancias similares y por tanto tienen la misma carga de entrenamiento.

Al tener en cuenta la evolución de la distancia en los 7 días de entrenamiento y el producto consumido tampoco se puede determinar que haya diferencias significativas ($p=0,710$), por lo que los dos grupos mantienen una media similar durante la semana.

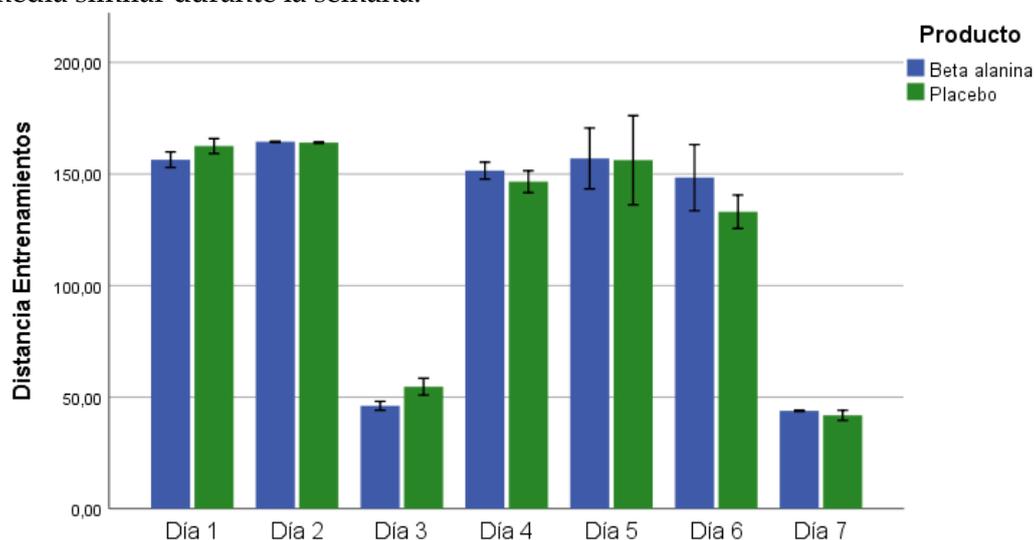


Figura 48. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la distancia recorrida de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.3 Trabajo total ejercido por los ciclistas

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos del trabajo total realizado en los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 42. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del trabajo total de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

	Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹	
	β -alanina	Placebo			
Trabajo Total (kJ)	Día 1	3456,6 ± 151,0	3537,8 ± 255,1	3500,9 ± 208,4	0,548
	Día 2	3936,2 ± 190,7	3984,3 ± 292,3	3962,5 ± 240,6	0,760
	Día 3	918,8 ± 118,2	898,7 ± 321,9	907,8 ± 239,8	0,898
	Día 4	3497,4 ± 382,4	3338,3 ± 423,6	3410,6 ± 393,9	0,534
	Día 5	3609,0 ± 770,3	3648,3 ± 1240,4	3630,5 ± 1003,5	0,952
	Día 6	3016,4 ± 629,4	2790,7 ± 487,4	2893,3 ± 539,6	0,519
	Día 7	801,6 ± 59,5	833,8 ± 90,4	819,2 ± 76,0	0,513

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Tal y como se muestra en la tabla anterior, el trabajo total realizado por los ciclistas es homogéneo para cada uno de los días en los que dura el estudio. Los valores medios son muy similares entre el grupo con consumo de placebo y el grupo con consumo de β -alanina.

Al comparar ambos grupos de consumo y se observa la evolución de los entrenamientos de la semana, se puede determinar que tampoco hay diferencias significativas ($p=0,884$), por lo que los dos grupos mantienen una media similar durante la semana.

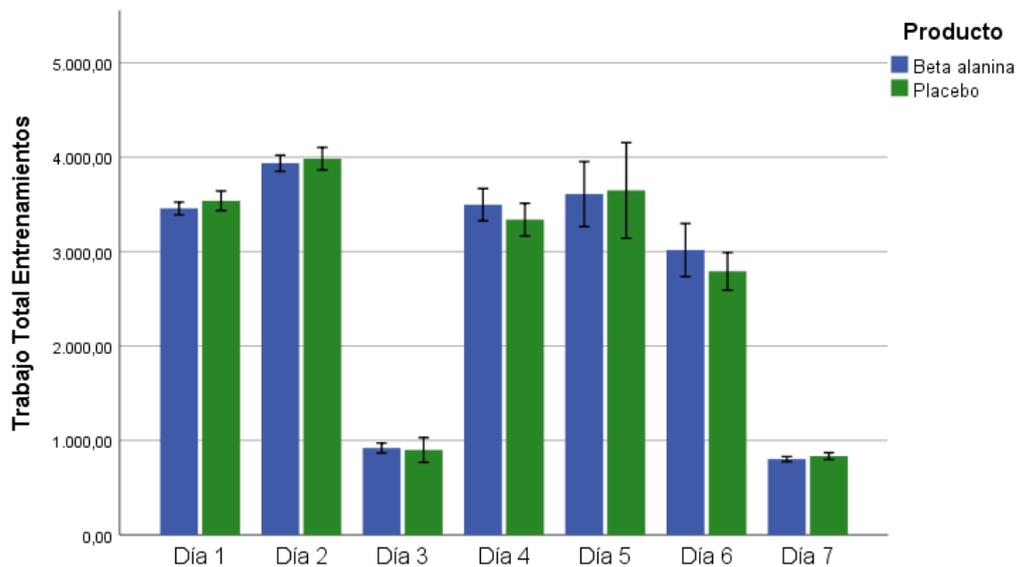


Figura 49. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del trabajo total de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.4 Potencia media

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos de la potencia media de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 43. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia media de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β-alanina	Placebo		
Potencia media (W)	Día 1	165,0 ± 39,1	195,7 ± 17,8	181,7 ± 32,0	0,117
	Día 2	198,4 ± 7,9	207,3 ± 18,9	203,3 ± 15,0	0,352
	Día 3	163,0 ± 15,2	165,0 ± 27,0	164,1 ± 21,4	0,887
	Día 4	190,2 ± 40,2	206,3 ± 20,2	199,0 ± 30,4	0,409
	Día 5	185,6 ± 38,5	210,7 ± 28,3	199,3 ± 34,1	0,244

Continuación Tabla 43.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β-alanina	Placebo		
W	Día 6	197,4 ± 10,4	197,2 ± 26,9	197,3 ± 20,1	0,986
	Día 7	144,8 ± 5,8	161,7 ± 19,7	154,0 ± 16,9	0,100

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Los sujetos de ambos grupos muestran valores homogéneos para cada uno de los días de entrenamiento al relacionar los dos grupos de consumo de producto.

La comparación entre la evolución de la potencia media de todos los días de entrenamiento y el producto ingerido en dicha semana muestra que no hay diferencias significativas para esta variable ($p=0,349$).

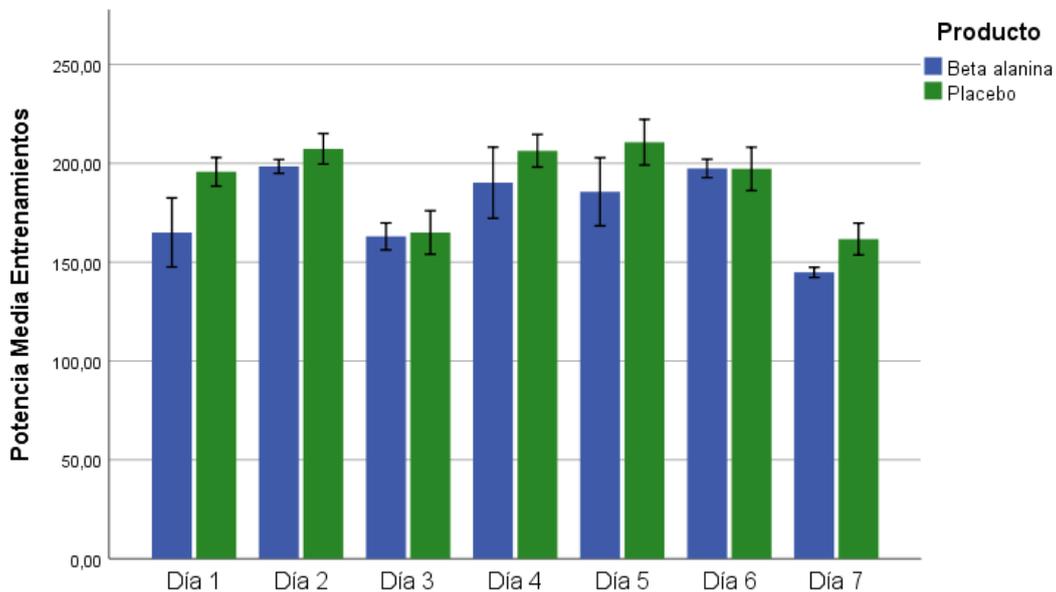


Figura 50. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la potencia media de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.5 Potencia normalizada

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos de la potencia normalizada de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 44. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la potencia normalizada de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β-alanina	Placebo		
Potencia normalizada (W/kg)	Día 1	258,0 ± 15,0	254,2 ± 21,4	255,9 ± 18,0	0,745
	Día 2	271,6 ± 13,4	269,8 ± 18,8	270,6 ± 15,8	0,864
	Día 3	195,0 ± 9,0	196,7 ± 29,9	195,9 ± 21,9	0,908
	Día 4	262,6 ± 18,8	255,7 ± 21,8	258,8 ± 19,8	0,591
	Día 5	259,0 ± 30,3	260,5 ± 34,4	259,8 ± 31,0	0,941
	Día 6	248,4 ± 8,0	245,5 ± 34,0	246,8 ± 24,6	0,857
	Día 7	186,8 ± 8,2	193,8 ± 17,9	190,6 ± 14,2	0,441

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Todos los datos son homogéneos al tener en cuenta los dos grupos del estudio para cada uno de los días de entrenamiento, lo que determina que los sujetos alcanzan los mismos o valores similares de potencia y por tanto tienen la misma carga de entrenamiento.

Al tener en cuenta la evolución de la potencia normalizada en los 7 días de entrenamiento y el producto consumido tampoco se puede determinar que haya diferencias significativas ($p=0,898$), por lo que los dos grupos mantienen una media similar durante la semana.

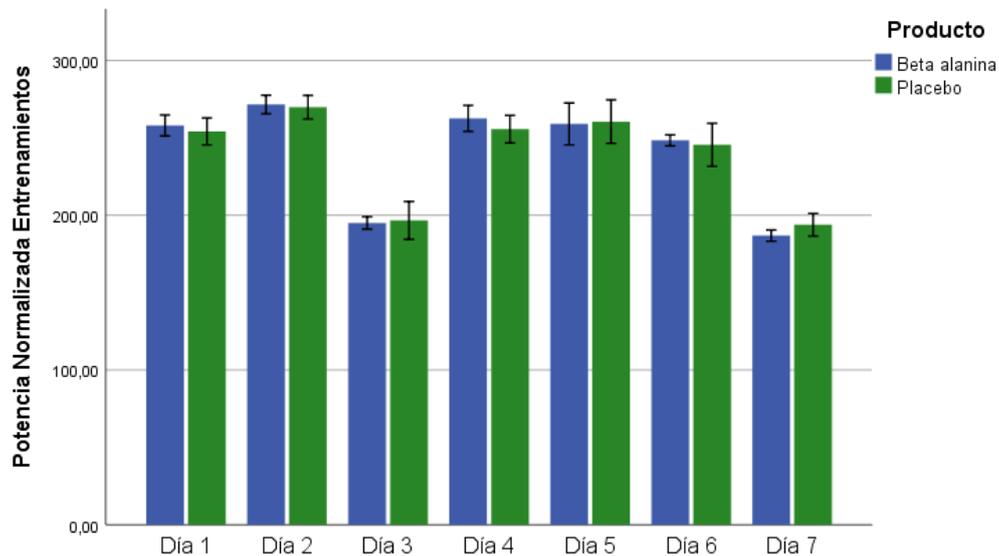


Figura 51. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la potencia normalizada de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.6 Intensidad relativa

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos de la intensidad relativa de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 45. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la intensidad relativa de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

	Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹	
	β -alanina	Placebo			
Intensidad relativa (UA)	Día 1	0,73 \pm 0,03	0,71 \pm 0,05	0,72 \pm 0,04	0,324
	Día 2	0,78 \pm 0,03	0,75 \pm 0,04	0,76 \pm 0,04	0,281
	Día 3	0,55 \pm 0,04	0,50 \pm 0,13	0,52 \pm 0,10	0,365
	Día 4	0,75 \pm 0,05	0,71 \pm 0,05	0,73 \pm 0,05	0,253
	Día 5	0,74 \pm 0,10	0,72 \pm 0,08	0,73 \pm 0,08	0,761

Continuación Tabla 45.

		Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹
		β -alanina	Placebo		
UA	Día 6	0,71 \pm 0,03	0,68 \pm 0,07	0,70 \pm 0,06	0,427
	Día 7	0,53 \pm 0,03	0,54 \pm 0,04	0,54 \pm 0,03	0,792

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

La intensidad relativa es homogénea al tener en cuenta los dos grupos del estudio para cada uno de los días de entrenamiento, lo que determina que los sujetos tienen la misma carga de entrenamiento.

Al comparar la evolución de todos los entrenamientos y compararla con los dos grupos de consumo, no se encuentran diferencias significativas para esta variable ($p=0,791$).

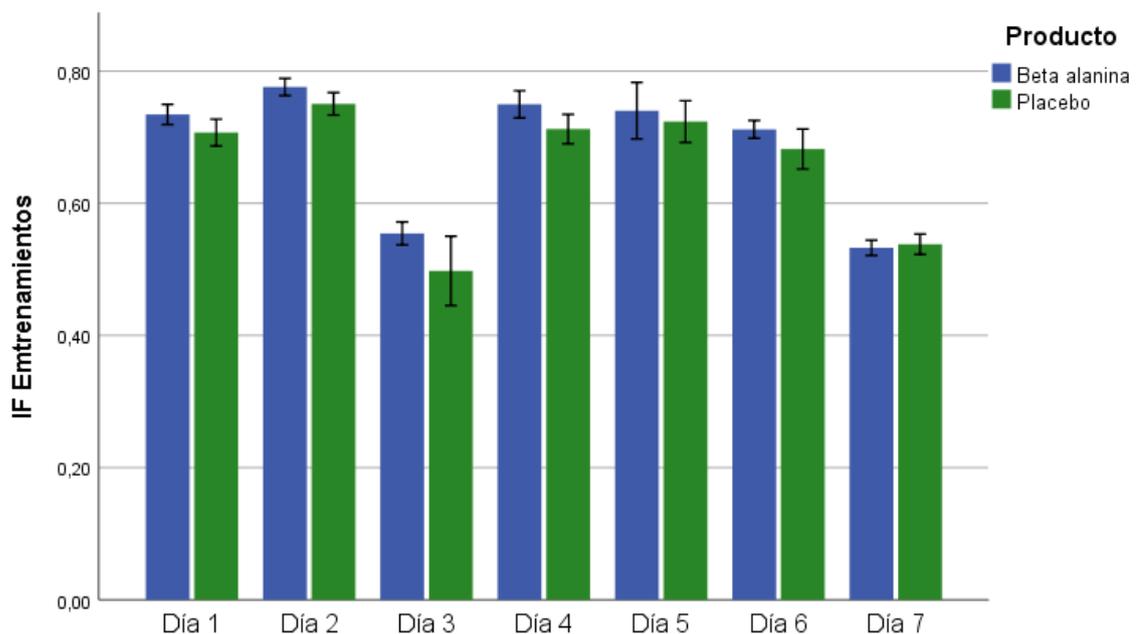


Figura 52. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la intensidad relativa de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.7 BikeScore

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos descriptivos del BikeScore de los entrenamientos durante la semana de consumo de producto.

Tabla 46. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del bikescore de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

	Producto		Media del Día entrenamiento	<i>p</i> -valor ¹	
	β-alanina	Placebo			
BikeScore (UA)	Día 1	260,2 ± 14,3	250,6 ± 36,2	255,0 ± 27,6	0,594
	Día 2	330,2 ± 28,1	307,7 ± 33,9	317,9 ± 32,1	0,268
	Día 3	476,3 ± 87,8	428,2 ± 200,6	450,0 ± 154,4	0,633
	Día 4	259,6 ± 36,7	229,4 ± 43,9	243,1 ± 41,8	0,254
	Día 5	384,2 ± 160,7	361,2 ± 157,1	371,7 ± 151,1	0,816
	Día 6	330,7 ± 265,9	228,9 ± 123,5	275,1 ± 196,8	0,422
	Día 7	419,8 ± 56,8	414,8 ± 63,6	417,1 ± 57,6	0,895

¹*p*: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

Todos los datos son homogéneos al tener en cuenta los dos grupos del estudio para cada uno de los días de entrenamiento, y por tanto tienen la misma carga de entrenamiento.

Al comparar ambos grupos de consumo y se observa la evolución de los entrenamientos de la semana, se puede determinar que tampoco hay diferencias significativas ($p=0,821$), por lo que los dos grupos mantienen una media similar durante la semana.

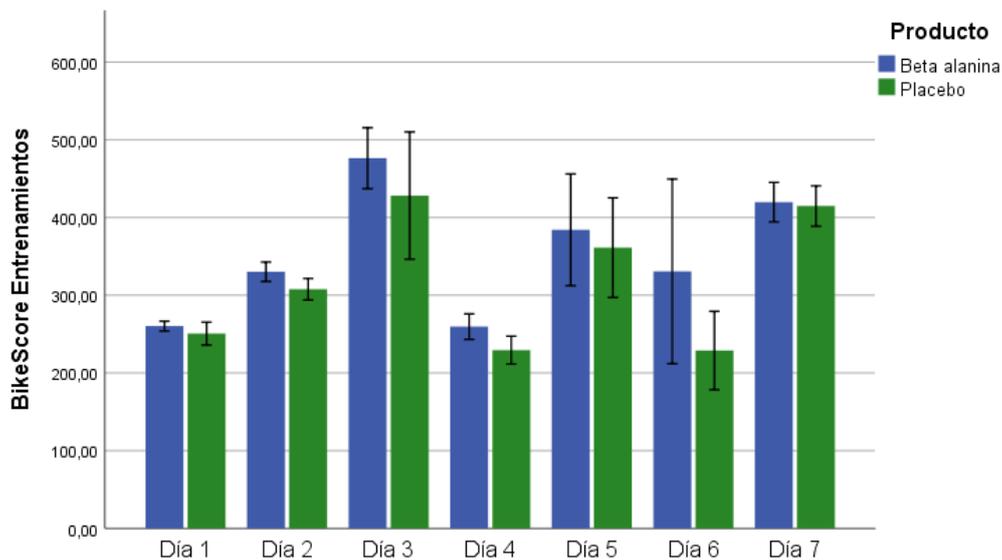


Figura 53. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del BikeScore de cada uno de los días de entrenamiento de la semana de concentración, dependiendo de cada uno de los grupos del estudio.

5.5.8 Datos generales teniendo en cuenta los días de entrenamiento

En la siguiente tabla se encuentran los datos descriptivos con la media del sumatorio de los entrenamientos realizados por los sujetos, teniendo en cuenta los 7 días de entrenamiento y los 5 días de entrenamiento intensivo (quitando los dos días de entrenamiento regenerativo que disminuye la media de cada una de las variables).

No se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas de entrenamiento ni en la carga de entrenamiento relativa. La intensidad relativa de los entrenamientos regenerativos (días 3 y 7) fue menor a los realizados el resto de los días, pero siendo similares y no significativos entre los grupos de consumo de β -alanina y placebo (Tabla 47).

Tabla 47. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la carga media diaria de todos los entrenamientos durante la concentración de entrenamiento de una semana y la media de los 5 días de entrenamiento excluyendo los entrenamientos regenerativos, para cada uno de los grupos de consumo.

Variable	Media de 7 días de entrenamiento			Media de 5 días de entrenamiento			p-valor
	Placebo	β -alanina	Total	Placebo	β -alanina	Total	
Tiempo (horas)	3,87 \pm 1,63	3,91 \pm 1,65	3,89 \pm 1,64	4,78 \pm 0,61	4,85 \pm 0,43	4,81 \pm 0,52	0,766
Distancia (km)	122,7 \pm 52,1	124,0 \pm 54,2	123,3 \pm 52,9	152,5 \pm 12,8	155,5 \pm 6,1	153,9 \pm 9,6	0,754
Potencia media (W)	192,0 \pm 20,3	177,8 \pm 20,4	185,5 \pm 8,3	203,4 \pm 6,6	187,3 \pm 13,5	196,1 \pm 8,3	0,242
Potencia normalizada (W)	239,5 \pm 31,1	240,2 \pm 34,4	239,8 \pm 32,6	257,1 \pm 8,9	259,9 \pm 8,4	258,4 \pm 8,5	0,948
Trabajo total (kJ)	2718,9 \pm 1316,0	2748,0 \pm 1318,0	2732,1 \pm 1315,6	3459,9 \pm 441,4	3503,1 \pm 330,9	3479,6 \pm 388,9	0,863
Intensidad relativa (IF)	0,66 \pm 0,10	0,69 \pm 0,10	0,67 \pm 0,10	0,72 \pm 0,02	0,74 \pm 0,02	0,73 \pm 0,02	0,333
BikeScore (UA)	317,3 \pm 85,5	351,6 \pm 80,6	332,8 \pm 81,7	275,6 \pm 57,7	313,0 \pm 53,2	292,6 \pm 52,6	0,414

¹p: significación estadística al comparar la carga de entrenamiento de cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.6 TEST DE PARESTESIA

Al registrar los efectos secundarios descritos, así como las parestesias sentidas durante la semana de consumo, se puede determinar que tan solo dos de los sujetos con consumo de β -alanina refirieron sentir un leve dolor estomacal el primer día de consumo de producto, pero que duró sólo unos cuantos minutos. En la escala visual analógica lo calificaron con una puntuación de un uno. Uno de estos sujetos refirió la misma sintomatología el último día de consumo de producto.

El resto de los sujetos, tanto con consumo de producto experimental como con consumo de placebo no determinaron sentir ningún tipo de parestesia ni de efecto secundario con la ingesta de suplementación, obteniendo en la escala visual analógica el valor de 0 en todos ellos.

5.7 COMPOSICIÓN CORPORAL

5.7.1 Peso corporal

Al inicio del estudio los sujetos del grupo experimental comenzaron con valores de $68,7 \pm 3,3$ Kg y tras la semana de suplementación, los valores medios fueron de $68,8 \pm 4,5$ Kg en el grupo control.

El grupo con ingesta de placebo, los valores medios iniciales fueron de $67,2 \pm 7,5$ Kg y después de la semana de suplementación se mantuvieron en valores medios de $67,2 \pm 7,5$ Kg.

Los estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 48. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del peso corporal al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

		Inicio	Final	p-valor ¹	p-valor ²
Peso Total (Kg)	β-alanina	68,7 ± 3,3	68,8 ± 4,5	0,794	0,826
	Placebo	67,2 ± 7,5	67,2 ± 7,5	0,968	

¹p: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se aprecian diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el instante inicial (p=0,701), por lo que son grupos homogéneos.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo placebo. La evolución de los sujetos que han consumido el producto placebo no tiene diferencias significativas (p=0,968).
 - Grupo experimental. No se observaron diferencias significativas (p=0,794) en la evolución de esta variable.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución de los grupos placebo y experimental, no se puede determinar que el consumo del producto experimental tras 1 semana disminuya o aumente el peso corporal con respecto al grupo control, ya que no hay diferencias significativas (p=0,826).

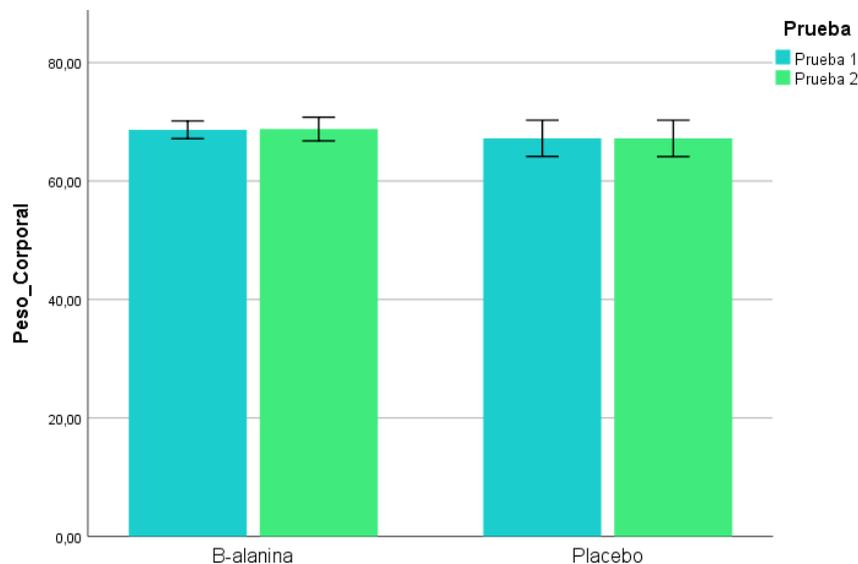


Figura 54. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del peso corporal al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

5.7.2 Masa grasa en porcentaje

Para el porcentaje de masa grasa se observa que el grupo control parte de valores medios de $8,6 \pm 2,9$ % y el grupo experimental de $8,3 \pm 2,0$ %.

El grupo control finaliza el estudio con valores de $8,5 \pm 2,9$ %. El grupo experimental consigue disminuir los valores tras la semana de suplementación, siendo estos valores de $7,3 \pm 2,1$ %.

Los estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 49. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) del porcentaje de masa grasa al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

		Inicio	Final	<i>p</i> -valor ¹	<i>p</i> -valor ²
Masa Grasa (%)	β-alanina	$8,3 \pm 2,0$	$7,3 \pm 2,1$	0,031	0,132
	Placebo	$8,6 \pm 2,9$	$8,5 \pm 2,9$	0,748	

¹*p*: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²*p*: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. Ambos grupos son homogéneos ya que parten de las mismas características en el instante inicial del estudio ($p=0,850$).
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo placebo. No se aprecian diferencias significativas ($p=0,748$) en la evolución de esta variable, tras el consumo del producto placebo.
 - Grupo experimental. Tras el consumo del producto de investigación, se aprecian diferencias significativas ($p<0,031$), por lo que el consumo del producto disminuye el porcentaje de masa grasa en los ciclistas.
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar el grupo placebo y experimental, no se puede determinar que el consumo del producto tras una semana de suplementación disminuya el porcentaje de masa grasa con respecto al grupo control, ya que no hay diferencias significativas ($p=0,132$).

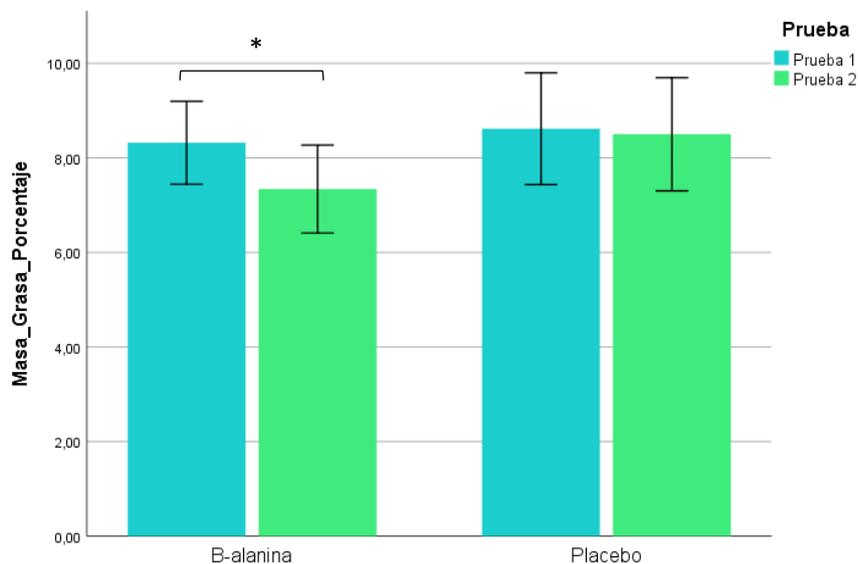


Figura 55. Parámetros descriptivos (media y error estándar) del porcentaje de masa grasa al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos. * $p<0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.7.3 Masa grasa

El grupo control comienza con valores de $5,9 \pm 2,2$ kg de masa grasa y termina con niveles de $5,8 \pm 2,3$ kg al ser medido por bioimpedanciometría.

El grupo experimental comienza con valores de $5,8 \pm 1,5$ kg, y al finalizar la ingesta del producto consigue un valor de $5,1 \pm 1,6$ kg.

Los estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 50. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la masa grasa expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

		Inicio	Final	p-valor ¹	p-valor ²
Masa Grasa (Kg)	β-alanina	$5,8 \pm 1,5$	$5,1 \pm 1,6$	0,033	0,181
	Placebo	$5,9 \pm 2,2$	$5,8 \pm 2,3$	0,558	

¹p: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se aprecian diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el instante inicial ($p=0,896$), por lo que ambos grupos parten de valores homogéneos para esta variable.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo placebo. La evolución de los sujetos que han consumido el producto placebo no tiene diferencias significativas ($p=0,558$) en los valores de esta variable. Esto determina que el consumo de placebo no ha modificado los niveles de esta variable durante el proceso de ingesta.
 - Grupo experimental. Se observan diferencias en la evolución de esta variable ($p<0,033$), por lo que los sujetos con ingesta de β-alanina disminuyen los valores medios de esta variable.

- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución entre ambos grupos, no se observan diferencias significativas ($p=0,181$).

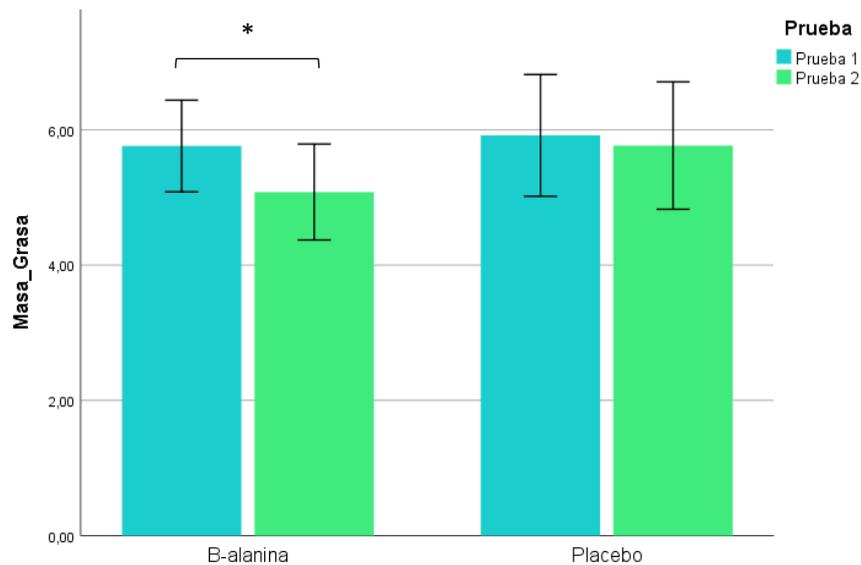


Figura 56. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la masa grasa expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos. * $p<0,050$ cambios significativos al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni).

5.7.4 Masa magra

Con respecto a la masa magra o masa libre de grasa, al inicio del estudio los grupos comenzaron con valores de $62,9 \pm 2,5$ kg en el grupo experimental y con $61,8 \pm 6,5$ kg en el grupo control.

Al terminar el estudio ambos grupos aumentaron estos valores a $63,7 \pm 3,8$ kg en el grupo experimental, y $61,9 \pm 6,2$ kg en el grupo control.

Los estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 51. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la masa magra expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

		Inicio	Final	p-valor ¹	p-valor ²
Masa Magra (kg)	β-alanina	62,9 ± 2,5	63,7 ± 3,8	0,131	0,333
	Placebo	61,8 ± 6,5	61,9 ± 6,2	0,769	

¹p: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se aprecian diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el instante inicial (p=0,731). Es por ello por lo que ambos grupos son homogéneos para esta variable.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo placebo. El consumo de placebo no ofrece ninguna modificación en los niveles de esta variable durante la ingesta. No se aprecian diferencias significativas en la evolución de esta variable (p=0,769).
 - Grupo experimental. Los sujetos que se encontraban en este grupo tampoco determinaron cambios estadísticamente significativos en la evolución de esta variable al consumir el producto experimental (p=0,131).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución entre ambos grupos, no se observan diferencias significativas (p=0,333), por lo que no se puede afirmar que el producto experimental mejore más el valor de esta variable que el producto placebo.

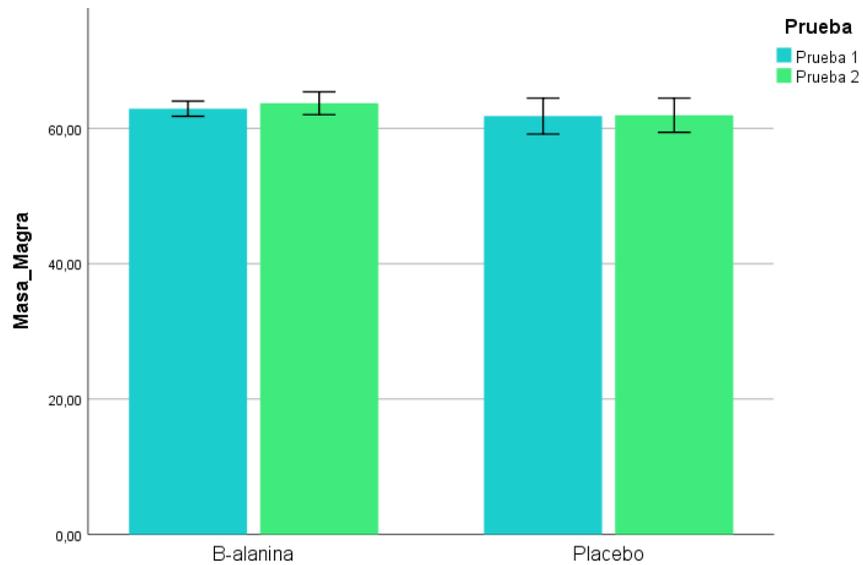


Figura 57. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la masa magra expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

5.7.5 Masa muscular

Los sujetos que pertenecían al grupo experimental comenzaron el estudio con un valor medio de $59,8 \pm 2,4$ kg de masa muscular medida mediante bioimpedanciometría y finalizaron el estudio con valores de $60,5 \pm 3,4$ kg.

El grupo control comenzó con una media de $58,7 \pm 6,2$ kg y finalizó el estudio con valores medios de $58,9 \pm 5,9$ kg de masa muscular.

Los estadísticos descriptivos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 52. Parámetros descriptivos (media y desviación estándar) de la masa muscular expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

	Inicio	Final	p-valor ¹	p-valor ²	
Masa Muscular (Kg)	β-alanina	$59,8 \pm 2,4$	$60,5 \pm 3,4$	0,129	0,347
	Placebo	$58,7 \pm 6,2$	$58,9 \pm 5,9$	0,726	

¹p: significación estadística al comparar el estado inicial y final para cada uno de los grupos (test de Bonferroni); ²p: significación estadística al comparar la evolución de la variable entre ambos grupos (MANOVA para medidas repetidas con dos factores de estudio (tiempo x grupo)).

Al realizar el análisis comparativo se obtuvo:

- Comparación entre ambos grupos en el estado inicial. No se encuentran diferencias significativas al comparar los valores de esta variable en el momento de inicio del estudio ($p=0,736$), por lo que ambos grupos parten de la misma base y se consideran grupos homogéneos.
- Evolución de cada uno de los grupos por separado.
 - Grupo placebo. El consumo de placebo no ofrece ninguna modificación en los niveles de esta variable durante la ingesta. No se aprecian diferencias significativas en la evolución de esta variable ($p=0,726$).
 - Grupo experimental. No se observa un aumento estadísticamente significativo de esta variable ($p=0,129$).
- Comparación de la evolución de esta variable entre grupos. Al comparar la evolución entre ambos grupos, no se observan diferencias significativas ($p=0,347$), por lo que no se puede afirmar que el producto experimental mejore más el valor de esta variable, medida con bioimpedanciometría, que el producto placebo.

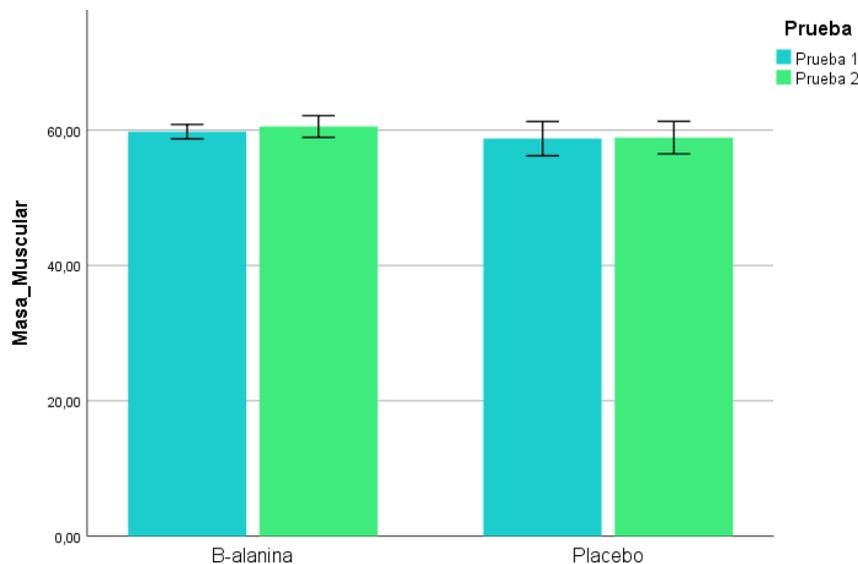


Figura 58. Parámetros descriptivos (media y error estándar) de la masa muscular expresada en kilos al inicio de cada una de las pruebas y para cada uno de los productos.

5.7 CONTROL DE LA INGESTA DEL PRODUCTO

Con el fin de conocer el nivel de cegamiento, se les preguntó después de finalizar las dos pruebas de medición, que producto creían que habían consumido. De los once sujetos, cuatro de los cinco sujetos que estuvieron consumiendo el producto experimental determinaron haberlo consumido. El otro sujeto determinó haber estado consumiendo placebo, cuando en realidad no era así. De los sujetos del grupo control, también fueron cuatro los sujetos que determinaron creer estar consumiendo β -alanina. Los otros dos sujetos dudaron de lo que estaban tomando.

5.8 SEGURIDAD

Durante la semana los sujetos podían apuntar en las hojas del test de parestesia si sentían algún acontecimiento que relacionasen con la ingesta de producto. Además, el segundo día de pruebas, tras la semana de ingesta de producto, se les preguntó directamente a los sujetos y técnicos del equipo. Ninguno de los sujetos del estudio determinó haber sentido ningún efecto secundario relacionado con el consumo durante la semana de duración del estudio. Por tanto, la ingesta del producto es segura.

VI - DISCUSIÓN

VI - DISCUSIÓN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia del consumo de 20 g/día de β -alanina con una mezcla en polvo de liberación sostenida durante una semana de entrenamiento intensivo. Esta evaluación se realizó con parámetros fisiológicos y de rendimiento en ciclistas profesionales de carretera con dos pruebas de contrarreloj, una con limitación temporal y otra con limitación de distancia.

Las posibilidades de que un ciclista gane una carrera dependen de las variaciones en el rendimiento entre una etapa y otra. Debido a las diferencias existentes entre cada una de las etapas en las grandes competiciones, Paton y Hopkins [279] determinaron que era necesario conocer la variación típica de los tiempos en competición de los ciclistas de élite. La variación típica de un ciclista de élite (y sus límites de probabilidad del 95%) fue del 0,4% (0,3-0,5%) en las competiciones de carretera de la Copa del Mundo, del 0,7% (0,7-0,8%) en las carreras de carretera del Tour de Francia, del 1,2% (0,8-2,2%) en pista, del 1,3% (0,9-2,4%) en las pruebas contrarreloj en carretera, del 1,7% (1,2-2,6%) en las pruebas contrarreloj del Tour de Francia y del 2,4% (2,1-2,8%) en la Copa del Mundo de ciclismo de montaña. La interdependencia de los ciclistas derivada de las tácticas de equipo y de la conducción en pelotón, probablemente explique la menor variabilidad del rendimiento de los ciclistas en las carreras de carretera e impida la estimación de los pequeños cambios en el tiempo de rendimiento de los ciclistas en estos eventos [279,280]. Las diferencias sustanciales en la variabilidad entre los restantes eventos, en los que los ciclistas actúan independientemente unos de otros, surgen de varios aspectos específicos del evento [281]. Para estos eventos, los cambios más pequeños que merecen la pena en el tiempo de rendimiento son ~0,5% en pista, ~0,6% en las pruebas de contrarreloj en carretera, y ~1,2% en las carreras de bicicleta de montaña [65,282]. Es por ello por lo que las mejoras de rendimiento entre el 1-2% se consideran buenas y, por tanto, a tener en cuenta. Mantener el rendimiento durante etapas consecutivas de alta exigencia puede representar una ventaja competitiva para los consumidores de β -alanina que compiten en carreras contrarreloj del World Tour [279].

Al tener en cuenta los resultados del estudio en comparación con estudios anteriores llevados a cabo con deportistas de élite y consumo de β -alanina, se debe de diferenciar tres aspectos: el tipo de contrarreloj llevada a cabo, el estado de entrenamiento de la muestra en el inicio del estudio y durante el mismo y la dosis total de acumulación de la β -alanina suministrada. Con respecto a los estudios anteriores, se determina que en ciclistas entrenados, son las contrarrelojes de limitación de distancia las que mayores beneficios aportan en relación al rendimiento deportivo [217,230,248]. La contrarreloj de 4 km son las que mayores producciones de potencia generan. La media de los estudios citados anteriormente ronda los 350w, mientras que estos valores fueron los valores medios más bajos encontrados en este estudio, aun utilizando una metodología de medición más larga en cuanto a tiempo y distancia (10 min frente a un poco más de 6 min; y 4,5 km frente a los 4 km de los estudios anteriores). Existe otro estudio donde si realizan una contrarreloj de 10 min, pero con una simulación previa de etapa de 110 min [142]. Las razones de estas diferencias pueden partir del tipo de población que se utiliza en cada uno de los estudios. En el presente estudio la muestra se trata de ciclistas profesionales de élite, mientras en el resto de los estudios la población utilizada son ciclistas entrenados, por lo que probablemente tenían un mejor acondicionamiento físico y esto podría condicionar la comparación de los resultados de este estudio con otros llevados a cabo anteriormente.

En relación a las dosis ingeridas de β -alanina, este estudio es el primero que utiliza las dosis más altas descritas en la literatura científica, no sólo en cuanto a ingesta diaria, 20 g diarios, sino que, en las dosis únicas, siendo dividida dicha ingesta en dosis de 5 g, provocando una acumulación de 155 g de principio activo, en un lapso corto de tiempo en comparación con el tiempo mínimo que hasta el momento se ha utilizado para reportar beneficios en el rendimiento. La mayoría de los estudios llevados a cabo hasta el momento emplean dosis diarias de 6,4 g con un consumo durante un mínimo de 4 semanas, provocando una acumulación de ~130-200 g de β -alanina, encontrando infinidad de resultados en relación al rendimiento [142,217,228,230,248–250]. Es por ello por lo que la acumulación de β -alanina en este estudio podría ser la razón de que haya un aumento en los niveles de carnosina muscular y, por tanto, la razón de los efectos beneficiosos encontrados en el mismo, ya que la carga de acumulación de β -

alanina prescrita en este estudio podría permitir un mayor incremento de carnosina a corto plazo (hándicap encontrado hasta el momento con esta suplementación). Hasta la fecha, el factor limitante de consumo de esta suplementación es que elevadas dosis conlleva a la aparición de parestesias, tal y como se observa en la revisión llevada a cabo por Dolan y col [93]. El producto empleado en el presente estudio, una mezcla en polvo de β -alanina de liberación sostenida, L-histidina y carnosina permitió administrar dosis más elevadas sin presencia de parestesias en la mayoría de los sujetos, consiguiendo, presumiblemente, una mayor carga de carnosina en un corto periodo de tiempo y mejorando efectivamente el rendimiento deportivo. Sin embargo, todo esto es deduciendo que lo obtenido en otros estudios y, los resultados del presente estudio sean debidos al aumento real de la carnosina muscular, ya que no se midió directamente. Se espera que las reservas de carnosina aumenten en base a la biodisponibilidad de la potencia de liberación controlada encontrada en el artículo de Salazar y col [175] llevado a cabo con el mismo producto en investigación y por la variedad de artículos llevados a cabo con ciclistas que determinan que son más propensos a obtener mayores concentraciones de carnosina muscular [103]. Las razones de todos ello se pueden argumentar teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Spelnikov y Harris [116], determinan mediante su modelo cinético que las dosis diarias más altas pueden producir mayores concentraciones de carnosina. En línea con lo observado con Chung y col [166], una duplicidad de ingesta unido a una reducción en el tiempo de consumo, equivale a poder conseguir los mismos valores de carnosina muscular con dosis más bajas y tiempos más prolongados.
- 2) Los músculos más entrenados aumentan los niveles de carnosina muscular en mayor medida que los músculos poco entrenados [123], por lo que se espera que el aumento de las concentraciones de carnosina muscular sean mayores en este estudio donde se investiga con ciclistas profesionales de élite.
- 3) La ingesta de la suplementación con las comidas, aunque se cuestiona si funciona o no [182], podría mejorar la captación de β -alanina [138].

- 4) La mezcla utilizada en el estudio contiene L-histidina y carnosina, lo que podría favorecer la síntesis de carnosina [103]. Aunque se desconoce, la ingesta crónica de β -alanina podría fomentar a que la L-histidina sea un factor limitante debido a una menor biodisponibilidad muscular de la misma [92].

Sin embargo, estas dosis tan elevadas también podrían provocar una descompensación homeostática debido a la inhibición del transportador TauT, la cual fue observada por Saundes y col [127] en la cuarta semana de suplementación con dosis de 6,4 g de β -alanina, lo que podría causar la saturación de síntesis de carnosina muscular. Hasta el momento, la concentración muscular y plasmática de L-histidina en humanos disminuye con la suplementación crónica de β -alanina [92,166], pero se desconoce los efectos que puede provocar en la taurina [283].

El tercer aspecto a tener en cuenta es el estado de entrenamiento de los sujetos. Los participantes de este estudio fueron ciclistas profesionales de élite, y aunque se encontraban en periodo de pretemporada, el nivel de entrenamiento es muy superior al encontrado en la mayoría de los estudios, con ciclistas moderada y altamente entrenados, pero de categoría amateur. Además, en este estudio, durante la semana de consumo de suplementación los sujetos llevaron a cabo un entrenamiento intensivo provocando una situación fisiológicamente exigente para los ciclistas. Muchos estudios, como el llevado a cabo por Jürimäe y col [284] determinaron que el rendimiento empeora después de un periodo de entrenamiento intensivo. En dicho estudio [284], observaron que un aumento del $\sim 100\%$ de la carga de entrenamiento y después de 6 días de entrenamiento intensivo ($19,6 \pm 3,8$ horas), el tiempo de rendimiento en el ergómetro de remo de dos mil metros empeoró. Estos resultados se relacionaron con una disminución de los niveles de testosterona en sangre medida en reposo, un aumento de los componentes de estrés y una disminución de los factores de recuperación, no alcanzando los deportistas una recuperación completa. En la temporada de un deportista de alto nivel, estos esfuerzos excesivos y cortos en duración se observan en varios momentos, y son debidos a un aumento de la carga de entrenamiento, en respuesta a un mayor volumen de entrenamiento o competición [284,285], que lleva consigo a un aumento del estrés y de las hormonas correspondientes [286] y que finalmente conlleva a una reducción de la

capacidad de rendimiento [24]. Sin embargo, esta sobrecarga de entrenamiento se realiza con el único fin de mejorar el rendimiento. El entrenamiento intensivo puede provocar una disminución del rendimiento, pero si se proporcionan períodos apropiados de recuperación, se podría provocar el efecto de supercompensación, mejorando los niveles iniciales de rendimiento. Este proceso es el que se utiliza cuando se llevan a cabo estos periodos de entrenamiento intensivo, obteniendo una disminución temporal del rendimiento, seguido de unas mejoras significativas [24,287].

Esto también se observó en el estudio de Hammes y col [288] llevado a cabo con deportistas con un $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de media de 59,4 ml/kg/min, en el que llevaron a cabo una concentración de entrenamiento de 11 días de los cuales los 6 primeros se caracterizaron por ser entrenamientos de alta intensidad donde los deportistas fueron acumulando fatiga. Esta fatiga conlleva la reducción de la capacidad de rendir en los ejercicios de entrenamiento [24] y también a un aumento de las hormonas del estrés [286]. Teniendo en cuenta esto, es probable que en el caso de los ciclistas que participaron en este estudio, la semana de entrenamiento intensivo que llevaron a cabo los llevó a una acumulación de fatiga, algo normal por la época del año en que se realizó el estudio que se caracteriza por un aumento de las cargas de entrenamiento [284,285].

Algunos estudios ya han utilizado la suplementación de la β -alanina para mitigar la fatiga provocada por un entrenamiento intensivo. Un estudio llevado a cabo por Chung y col [249] con ciclistas bien entrenados, suministraron 6,4 g/día de β -alanina durante 6 semanas, en el que pretendían demostrar si la ingesta de β -alanina tendría un efecto ergogénico sobre un ejercicio de 1 hora de contrarreloj. A pesar de que se encontraron pérdidas significativas de rendimiento en ambos grupos, se pudo determinar que hubo un aumento de las concentraciones de carnosina muscular en el grupo experimental, encontrando un aumento del $143 \pm 151\%$ ($p < 0,001$) en el gastrocnemio y $161 \pm 56\%$ ($p < 0,001$) en el sóleo. Esto fue corroborado con los niveles de concentración de lactato después de la suplementación ($p < 0,05$), que determina que una concentración similar de lactato estuvo acompañada de un menor grado de acidosis sistémica. Los autores de este estudio determinaron que la falta de mejora en los parámetros de rendimiento tras el consumo de β -alanina podría ser debido al perfil predominantemente aeróbico de la prueba y a la fatiga acumulada durante esas 6 semanas de

entrenamiento. Hasta el momento solo hay un estudio llevado a cabo con mujeres futbolistas con el objetivo de aumentar el rendimiento durante una concentración de entrenamiento de 9 días, pero con un consumo durante 3 semanas de dosis de 6,4 g/día de β -alanina de liberación sostenida, dividida en 4 dosis de 800 mg cada una. Los resultados demostraron no obtener mejoras en la capacidad de ejercicio intermitente de alta intensidad (YoYo y prueba de velocidad) pero si se observaron mejoras en relación a la fatiga muscular en el periodo preparatorio [289]. En línea con este, sólo hay un estudio llevado a cabo con hombres que también probó el efecto de la suplementación de la β -alanina en una concentración de entrenamiento intensivo de corta duración (9 días, acumulación de 135 g de β -alanina durante 30 días). También se encontraron mejoras en la percepción de fatiga por parte de los ciclistas pero no se determinaron mejoras en el rendimiento anaeróbico de los ciclistas después de llevar a cabo una prueba de Wingate [235].

A pesar de ello, la mayoría de los estudios que han analizado el efecto de la β -alanina sobre el rendimiento deportivo en ciclistas, han determinado que la suplementación mantiene [257,259,261,262], mejora [142,228–230,260] o presentan una alta probabilidad de tener efectos positivos sobre el rendimiento [217,258]. Estos estudios, junto con el presente, proporcionan datos suficientes para determinar que la ingesta de β -alanina puede ayudar a mantener o mejorar el rendimiento cuando los deportistas son sometidos a una carga fisiológica muy elevada y exigente, como los que se pueden encontrar en las concentraciones de entrenamiento intensivo o en periodos de competición de una temporada de un atleta profesional. Sin embargo, para poder determinar que el efecto encontrado es exclusivo de la suplementación ingerida se hace necesario tener un control exhaustivo de los entrenamientos realizados y del control dietético, aspectos que hasta el momento los estudios anteriores no han investigado.

El control y evaluación de la carga de entrenamiento en el presente estudio se realizó para poder determinar que las sesiones de entrenamiento fueron homogéneas para ambos grupos. Durante la semana de suplementación los ciclistas llevaron a cabo sesiones de entrenamiento de mañana y tarde con un volumen de entrenamiento similar al de competición. De los 7 días de entrenamiento, sólo 2 días fueron de entrenamiento regenerativo, coincidiendo con los días 3 y 7 (este último debido a que se les pidió que replicasen las mismas

condiciones previas al día previo de la visita basal, y no debían de realizar ningún ejercicio extenuante que pudiera repercutir en el desarrollo de las mediciones). Los entrenamientos se llevaron a cabo en carretera, con una media de 4,8 horas, y una distancia recorrida de 153,9 km. Estos datos determinan que los sujetos llevaron a cabo entrenamientos como si se tratase de etapas llanas de competición, con la salvedad de que no eran sólo recorridos llanos, ya que la zona de Calpe se caracteriza por tener muchas rutas en zona de montaña, y porque las intensidades de trabajo superaron el 40% del $VO_{2m\acute{a}x}$ [8–10]. Con respecto a la intensidad de la semana de entrenamiento, se ha tenido en cuenta la potencia media y normalizada durante el desarrollo de los entrenamientos. Teniendo en cuenta la potencia media, los ciclistas trabajaron durante los 5 días de entrenamiento más intenso con una media de 196,3W, lo que supuso el ~45% de la potencia al conseguir el $VO_{2m\acute{a}x}$ de los sujetos y el ~55% de la potencia del VT2. Con respecto a la potencia normalizada, es la más utilizada en los entrenamientos de ciclistas ya que da un valor más real al no tener en cuenta los picos de potencia y, además, se hace más idónea al compararla con los valores obtenidos en la prueba incremental llevada a cabo al inicio del estudio, en la que no se tienen en cuenta las resistencias propias del ciclismo de carretera y el desnivel que conlleva entrenar en puertos [11,12]. Es por ello por lo que se puede determinar que los sujetos del estudio trabajaron durante dicha semana a porcentajes del ~59% de la potencia normalizada conseguida en su $VO_{2m\acute{a}x}$ y al ~73% de la potencia del VT2. Esto determina que los ciclistas entrenaron mayoritariamente en parámetros de su VT1.

La razón de mantener las cargas de entrenamiento iguales y controladas entre ambos grupos durante la semana de suplementación fue con el objetivo de no atribuir las mejoras encontradas a los efectos del entrenamiento y las adaptaciones fisiológicas que pudiera suponer para los ciclistas, sino que a una posible rápida acumulación de carnosina, compensando una disminución del rendimiento, como se pudo observar en el grupo control.

6.1 PRUEBA CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN TEMPORAL

El objetivo principal de las pruebas de contrarreloj con limitación temporal fue observar las modificaciones en todos los parámetros relacionados con el rendimiento deportivo y bioquímico tras un consumo crónico de una semana de β -alanina. Los resultados obtenidos mostraron que una carga de alta dosis de β -alanina a corto plazo mejoró la capacidad de ciclismo de alta intensidad y la distancia recorrida de un ciclista de élite mundial que participó en un plan de entrenamiento intensivo en comparación con un placebo.

6.1.1 Variables de rendimiento

Con el consumo de β -alanina durante una semana en la que los sujetos realizaron una concentración de entrenamiento intensivo, se produjeron modificaciones bastante relevantes e interesantes en cada una de las variables analizadas para la cuantificación del rendimiento.

En relación a la contrarreloj con limitación temporal, al tener en cuenta la potencia media de los ciclistas del grupo experimental, se puede observar un aumento de 12,9W después de la semana de suplementación y acumulación de 155 g de β -alanina, pero sin poder determinar que estas mejoras sean significativas ($p=0,305$). En esta prueba de 10 min de duración cabía esperar que la fatiga acumulada durante la semana de entrenamiento provocase una disminución de los resultados, como los encontrados en el grupo placebo para esta variable, que disminuye 24,3W en la segunda prueba, siendo estas diferencias significativas al comparar la evolución de este grupo desde la prueba inicial ($p<0,050$). En la comparación realizada entre ambos grupos del estudio, sí se puede observar diferencias significativas ($p<0,046$). Esto es lo que determina que, aunque el grupo experimental no mejora significativamente (seguramente debido a la baja potencia estadística por el número de participantes en este grupo) si se puede determinar que el consumo de esta suplementación provoca una tendencia a la mejora de la potencia en esta prueba, ya que se consigue un incremento del 3,42% con respecto al inicio del estudio. El empeoramiento del grupo placebo fue de 6,21%, datos esperados después de la semana intensiva de entrenamiento.

Con respecto al resto de variables de rendimiento se observa el mismo patrón; el grupo con consumo de la suplementación de β -alanina mejora los valores iniciales o los mantiene, mientras que el grupo placebo disminuye el rendimiento siendo significativo este descenso en la mayoría de las variables analizadas.

En la presente prueba, donde la limitación se encontraba en el tiempo de 10 min de duración, se motivó a los ciclistas a realizar el mayor número de metros posibles. A pesar de que los grupos partieron con una diferencia de 103 m, siendo superior en el grupo control, estas diferencias no fueron significativas por lo que se puede determinar que ambos grupos partieron de los mismos valores medios. La diferencia después de una semana en cada uno de los grupos determinó que hubo una pequeña mejora en el grupo con suplementación de β -alanina de 91,4 m, pero sin significación estadística ($p=0,299$). A pesar de ello, la mejora se determina alrededor del 1,26% y la mejoría mínima para este tipo de población y prueba se establecía en el 0,6% [65,282]. Sin embargo, el grupo control disminuyó significativamente ($p<0,050$) los valores medios de esta variable, realizando el segundo día de prueba 168,2 m menos que al inicio del estudio. Este empeoramiento de distancia supone un 2,28%, y es lo que determina que la comparación entre ambos grupos sea significativa ($p<0,046$) y por tanto se puede presuponer que la suplementación mejoró los niveles de esta variable, ya que consiguió atenuar las pérdidas provocadas por el entrenamiento llevado a cabo durante la semana de realización del estudio.

Las diferencias encontradas al analizar el trabajo total producido por los ciclistas durante la prueba de contrarreloj van en línea con las anteriores. La mejora del grupo experimental con respecto al grupo control fue del 9,71% ($p<0,046$). En esta variable, los cambios producidos fueron más pronunciados en el grupo con consumo de placebo obteniendo un empeoramiento de 14,7 J ($p<0,050$), ya que la mejora del grupo experimental fue de tan sólo 7,8 J ($p=0,305$).

Con respecto a las AUC del trabajo y potencia, tomando como base el valor inicial de cada una de las variables, se puede observar lo mismo que en las variables anteriormente comentadas, excepto en el AUC del trabajo para el grupo control. En el AUC de trabajo en el grupo experimental, a pesar de observar una tendencia clara a la mejora no se puede determinar que así sea, ya que no se observan diferencias significativas al comparar las pruebas llevadas a cabo por

este grupo de ciclistas ($p=0,182$). En este caso, en el grupo control también ocurre lo mismo; no se puede determinar que haya un empeoramiento significativo ($p=0,122$). Sin embargo, al observar la evolución de dicha variable durante la semana de consumo que dura el estudio de ambos grupos por separado y al compararlos teniendo en cuenta el desarrollo del estudio, se puede determinar que si se encuentran diferencias significativas ($p<0,050$). Esto determina que realmente el consumo de esta suplementación, aunque no se puede decir que mejore los valores finales, si consigue atenuar la disminución de estos. En relación al AUC de potencia, se puede describir de la misma forma que ocurre en la variable de potencia. En este caso los valores iniciales del grupo control son superiores a los del grupo experimental (aunque a pesar de ello son homogéneos en el momento inicial del estudio), por lo que podría ser la explicación de las diferencias significativas encontradas al finalizar el estudio para este grupo. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que las diferencias entre ambos grupos al comparar la prueba final son del 6,13%.

Al tener en cuenta la cadencia y fuerza de pedaleo de ambos grupos, no existen diferencias entre ellos. La cadencia, a pesar de que disminuye en 1,2 rpm en el grupo experimental y el grupo placebo aumenta en 0,8 rpm, no existen diferencias significativas ($p=0,506$). En relación a la fuerza de pedaleo hay una disminución en ambos grupos, aunque no es significativa ($p=0,260$). En el grupo control los valores en la segunda prueba disminuyen en 24,8N y en el grupo experimental en 1,8N.

En estudios anteriores llevados a cabo con ciclistas altamente entrenados, se ha evaluado la modificación del rendimiento cuando se utilizan cadencias de pedaleo elevadas. Un estudio llevado a cabo por Mora-Rodríguez y Aguado-Jimenez [290] determinaron que una cadencia de pedaleo de 120 rpm ($34 \pm 1,4\%$ mayor que la cadencia habitual de los ciclistas) redujo significativamente la potencia máxima durante un test incremental continuo, mientras que cadencias por debajo de las habituales ($\sim 11\%$ inferior), es decir, entre 80 y 100 rpm no mostraron modificaciones en el rendimiento de dicha prueba. La reducción del rendimiento a cadencias altas determina, con una correlación muy alta ($R=0,93$; $p<0,05$), que el pedaleo a 120 rpm disminuye el VT2 y la potencia máxima conseguida, al igual que lo observado en el presente estudio con el grupo control.

En definitiva, los cambios encontrados en todas las variables están relacionados entre sí. La mejora del rendimiento de la potencia en los sujetos con suplementación de β -alanina se asocia con un mantenimiento de la cadencia y fuerza de pedaleo llevada a cabo en ambas pruebas, provocando una mayor eficiencia en el trabajo realizado y provocando por tanto una mejora en el número de metros recorrido. En el caso del grupo control, el empeoramiento en la cadencia y fuerza de pedaleo generan una disminución en el rendimiento global de la segunda prueba, provocado por un exceso de fatiga.

Los ciclistas que compiten en el World Tour generan adaptaciones metabólicas mitocondriales que les permiten realizar mayores cantidades de ejercicio intenso, en paralelo a mayores acumulaciones de lactato intracelular, lo que podría estar asociado a los mayores valores de potencia registrados comparativamente en estos ciclistas [291]. En este estudio llevado a cabo con ciclistas profesionales de élite, y en línea con lo anteriormente expuesto, se presupone que la contrarreloj realizada supuso a los ciclistas un esfuerzo de alta intensidad. Esto genera una demanda de ATP que no pudo ser satisfecha exclusivamente por las vías oxidativas, provocando una mayor utilización de las vías anaeróbicas, especialmente mediante la glucólisis anaeróbica láctica, desencadenando una mayor acumulación de H^+ y por tanto un déficit en el mantenimiento de la contracción muscular [141,204,206].

Como se comentó anteriormente, los valores iniciales de la primera contrarreloj fueron homogéneos para ambos grupos y para ambas pruebas (con limitación temporal y limitación de distancia), por lo que no se encontraron diferencias en relación al rendimiento de los ciclistas. Tras la semana de entrenamiento, donde probablemente los ciclistas acumularon fatiga [24,286,289], fue lo que determinó que el grupo control no pudiera mantener un rendimiento óptimo, ya sea por una acumulación de H^+ o porque los mecanismos de amortiguación no funcionaron de la misma forma que en la primera contrarreloj realizada. Sin embargo, el grupo experimental mostró una tendencia al aumento de la potencia media en un 3,42%, aunque no se pudo determinar como una diferencia significativa en la evolución de dicho grupo, pero que posiblemente fue debido a la preservación de los sistemas de amortiguación de los músculos, la acción sobre la fatiga central o una combinación de ambos. Estudios recientes en atletas de resistencia de élite, velocistas y deportes de combate, determinan

beneficios de adaptación metabólica (como concentraciones más bajas de amoníaco después del ejercicio) durante los periodos de entrenamiento [292,293] que puede ser un beneficio adicional de las dosis altas de β -alanina de corta duración en ausencia de una mejora visible del rendimiento, además de un beneficio en el rendimiento.

La β -alanina ha demostrado provocar aumentos de rendimiento en diferentes pruebas de ciclismo [142,228,230,248,250], pero en esta prueba de limitación por tiempo, sólo se pudo comprobar que la ingesta de esta suplementación ayudó a mantener o atenuó las pérdidas del rendimiento después de la semana de entrenamiento de mayor intensidad. Esto se reflejó en la producción de potencia, trabajo total realizado y la distancia total recorrida en la prueba, después de una situación fisiológicamente exigente a lo largo de una semana de campo de entrenamiento intensivo.

6.1.2 Variables bioquímicas

Los efectos producidos a nivel bioquímico en este estudio después de realizar la contrarreloj con limitación temporal tras el periodo de suplementación con β -alanina podrían ser los responsables de lo observado a nivel de rendimiento de los ciclistas. La razón de ello es que la bioquímica sérica daría una explicación de los efectos encontrados en la contracción muscular.

En el presente estudio se observa que la suplementación durante tan sólo una semana provocó mejoras en la variable de lactato en sangre. Ambos grupos realizan las dos pruebas de contrarreloj al máximo ya que obtienen valores superiores a 10 mmol/L [294]. Además, tanto la prueba inicial de ambos grupos (sin suplementación) como el inicio de los dos días de prueba, se determina que los valores son homogéneos, es decir, no se encuentran diferencias significativas entre ellos y por tanto se pueden comparar los valores obtenidos al finalizar el estudio, determinando que el suplemento de β -alanina es el responsable de las mejoras obtenidas o el empeoramiento de esta variable. Los valores obtenidos en la primera prueba por parte del grupo experimental determinan un cambio de 9,5 mmol/L, mientras que en la segunda prueba dichos cambios están en torno a 11,9 mmol/L. A pesar de que solo hay una diferencia de $\sim 2,4$ mmol/L y no hay

diferencias significativas ($p=0,060$) si se puede determinar una tendencia a la misma que, si la muestra hubiese sido más amplia, quizás, se podría haber encontrado resultados más concluyentes. Con respecto al grupo control, las diferencias rondan los $\sim 1,4$ mmol/L, obteniendo valores inferiores en la segunda prueba de contrarreloj realizada después de la semana de entrenamiento intensivo. Las diferencias entre ambos grupos al finalizar el estudio si demuestran diferencias significativas ($p<0,036$), por lo que el grupo con suplementación de β -alanina es capaz de soportar o gestionar de forma más eficiente la acidosis metabólica que se produce durante la prueba, y podría ser debido a que llegan a este día con unos niveles de fatiga más bajos con respecto al grupo con consumo de placebo.

La acidosis provoca un desequilibrio ácido – base, que se caracteriza por la disminución de las concentraciones del bicarbonato y va acompañado o no de una disminución del pH por debajo de los valores normales (7,35-7,45 puntos). Esta situación afecta de forma importante a todos los atletas que entrenan modalidades de alta intensidad y se encuentran a expensas de su mecanismo de adaptación, aspectos que se encuentran reflejados en este estudio. En el grupo experimental, la prueba final mantiene los valores de la primera contrarreloj realizada, por lo que a pesar de aumentar los valores de lactato en sangre no disminuye los niveles de pH. Los ciclistas que consumieron β -alanina son capaces de soportar en mayor medida la acidosis metabólica provocada con el ejercicio en comparación con el grupo placebo, que además de no poder mantener valores muy elevados de lactato en sangre disminuye los valores de pH en 0,15 puntos (aunque no son datos significativos $p=0,510$). Los valores de bicarbonato en sangre van en línea con lo observado con el pH, el grupo experimental mantiene la media durante las dos pruebas $\sim 10,43$ mmol/L mientras que en el grupo con consumo de placebo se observa una tendencia al aumento de dichos valores, finalizando la segunda prueba con una diferencia de 1,4 mmol/L entre ambos grupos. El sistema de amortiguación de H^+ capilar mediante HCO_3^- es el más representativo y eficaz del organismo como regulador ácido-base [295]. Aunque se han descrito descensos del pH muscular en ejercicios muy extenuantes de hasta 6,2 puntos, el pH sanguíneo tiende a mantenerse entre 7,36 y 7,44 puntos por ser un parámetro crítico para el correcto funcionamiento orgánico, mientras que en el

presente se han descrito valores de hasta 7,2 puntos en el estudio, reflejando de nuevo la alta intensidad de la prueba [192,295].

Por ello, la alta demanda energética que supuso a los ciclistas esta contrarreloj, en la cual se fosforiló gran cantidad de energía por la glucólisis anaeróbica láctica, provocó un aumento de los H^+ intramusculares y de lactato, determinando un estado de compromiso bioenergético para el mantenimiento de la contracción muscular. El consumo de β -alanina, y probablemente, un aumento de las concentraciones de carnosina muscular serían el determinante de la regulación del pH. El aumento de la producción de H^+ se amortigua parcialmente en el interior del músculo, mediante microdominios iónicos de carnosina, que depositan H^+ / Ca^{2+} en el citoplasma para regular el pH intracelular, expulsando parcialmente los H^+ restantes a la sangre sistémica [140]. Esta acumulación de H^+ saturan los lugares de unión del Ca^{2+} en las miofibrillas y disminuyen la eficacia del ciclo de puentes cruzados y reduciendo la actividad de enzimas como la fofructokinasa y la fosforilasa, claves en la glucólisis [204–207,222]. Estudios previos con ciclistas entrenados que realizan pruebas contrarreloj [142,217,258] o después de 1 h de ciclismo de intensidad moderada [249] no encontraron diferencias en el lactato ni en el pH sanguíneo con la suplementación de β -alanina. Por otro lado, los atletas que participaron en entrenamientos de intervalos de alta intensidad produjeron valores de lactato más altos en comparación con el placebo después de estos esfuerzos [133,296] de acuerdo con nuestros resultados.

En relación a la presión parcial de oxígeno y dióxido de carbono, las modificaciones encontradas en el presente estudio no muestran diferencias significativas, posiblemente debido al número de sujetos con los que se llevó a cabo. Al tener en cuenta la pO_2 existe un descenso de los valores en la segunda prueba $\sim 10,0$ mmHg, mientras que en el grupo control ocurre todo lo contrario, encontrando el segundo día de prueba un aumento de los valores de 14,7 mmHg. Con respecto a la pCO_2 se podría determinar que ambos grupos mantienen la misma media entre ambas pruebas y también los valores son muy similares entre ellos ($p=0,868$).

Por otro lado, el anión GAP, determinado también como brecha aniónica equivale a la diferencia entre la concentración de sodio sérico y la suma de las concentraciones de cloro y bicarbonato. Este valor determina el equilibrio ácido –

base. Un aumento de la acidosis metabólica asociada con un aumento de esta variable es debido a una sobreproducción de ácido endógeno, provocado principalmente por el aumento de las concentraciones de H^+ y lactato. El anión GAP gira en torno a la idea de que el organismo humano debe tener la misma cantidad de aniones que de cationes en su sangre para que de esta manera se pueda mantener el equilibrio en el intercambio de sustancias a nivel capilar [297], debido a que una de las fuerzas que intervienen en la microcirculación son las fuerzas eléctricas y una descompensación de la carga a nivel sanguíneo podría modificar este mecanismo. En el presente estudio, los valores de la contrarreloj final aumentan en 2,6 mmol/L en el grupo con consumo de β -alanina, mientras que en el grupo control los valores disminuyen en 1,9 mmol/L, a pesar de no ser significativa la evolución de cada uno de los grupos por separado, si se puede observar una tendencia a la disminución ($p=0,107$; $p=0,182$, respectivamente). La diferencia entre ambos grupos puede determinar que el consumo de β -alanina aumenta dicho desequilibrio aniónico, en línea con lo encontrado en las variables de lactato, bicarbonato y pH.

Cuando se calcula la diferencia sanguínea entre cationes y aniones y no se obtiene el valor esperado, se asume que debe haber una sustancia que contribuye a ese equilibrio eléctrico. Sin embargo, la fórmula del anión GAP no contempla al lactato, por lo que al aplicarla se puede determinar un descenso de los aniones a lo que se conoce como Brecha aniónica. Dicho esto, es lógico considerar que, si existe un mayor incremento de lactato en un grupo, también exista un incremento del anión GAP. El problema sobreviene con los H^+ intracelulares. Metabólicamente, el cuerpo produce H^+ durante todo el proceso en el que se realiza ejercicio físico, pero en el momento en el que se sobrepasa el umbral metabólico aeróbico, esta producción de H^+ se acelera (y de forma equimolar la producción de lactato) y es debido al aumento de forma incremental al uso de la ruta anaeróbica láctica [194,198]. Es en este momento es en el que se comienzan a utilizar, en mayor medida, los tamponadores intracelulares, con el fin de tamponar la producción de H^+ y no repercutir en una disminución del pH intracelular poniendo en riesgo a la célula muscular. De estos tamponadores, los más eficaces son las proteínas intracelulares, y entre ellas, y fundamentalmente en el miocito, se encuentra la carnosina muscular. Por lo que el incremento de carnosina puede mejorar el mecanismo tamponador del miocito además de

mejorar otros procesos bioquímicos fundamentales en el ejercicio anaeróbico [140,187].

En este estudio y de forma hipotética, se entiende que el consumo y acumulación de 155 g de β -alanina ha producido un incremento de carnosina muscular. En el momento en el que los ciclistas son sometidos a un ejercicio anaeróbico láctico, se empieza a producir H^+ y la carnosina empieza a realizar su función. El aumento de la concentración de carnosina muscular provoca que el miocito sea capaz de soportar la concentración de H^+ en mayor medida, pero este aumento de concentración de H^+ finalmente no son soportadas a nivel intracelular y se provoca la salida al medio extracelular de estas moléculas. A nivel extracelular, los H^+ excesivos son tamponados por el bicarbonato y por eso se detecta un descenso mayor de bicarbonato. Es decir, el tamponamiento de los H^+ a nivel intracelular facilita una mayor producción de H^+ , que tiene reflejo a nivel extracelular pero que sobre todo tiene un efecto en el rendimiento, ya que permite y tolera en mayor medida la acumulación de H^+ y, por tanto, provoca una mayor producción de energía y rendimiento [98,230].

Este aumento de concentración de H^+ se acumulan en paralelo al lactato, que es expulsado de la célula mediante el transportador MCT1 [298]. Este transportador extrae lactato a favor de gradiente y lleva consigo a los H^+ , lo mismo que se observa en el presente estudio con el grupo con consumo de β -alanina [115]. Estos aumentos a nivel capilar podrían contribuir al aumento de la brecha aniónica, pero es un indicador relativamente poco sensible en la presencia de acidosis láctica [194]. Además, tiene una utilidad limitada para controlar su evolución, ya que puede verse afectada por el tipo de anión retenido, como es el lactato, donde se requiere que las concentraciones de este sean más elevadas para que se genere una modificación en la brecha aniónica [297]. En un estudio llevado a cabo por Glasmacher y Stones [299] determinaron que el anión gap no detecto hiperlactatemia con un lactato por encima de valores de 2,5 mmol/L, pero sí tuvo una capacidad discriminatoria para la detección de un lactato por encima de 4 mmol/L. Por esa razón en este estudio se obtiene una tendencia a la significancia en la evolución de cada uno de los grupos por separado y diferencias significativas al evaluar ambos grupos ($p < 0,047$), ya que los valores finales de lactato en este estudio fueron superiores a 10 mmol/L y cualquier cambio a estos niveles supone modificaciones fisiológicas importantes. Tal y como se ha venido

comentando hasta ahora, si la exportación se hubiera hecho en consonancia con los H^+ , se habría esperado un mayor descenso de los valores de pH a nivel del torrente sanguíneo en el grupo con consumo de β -alanina, pero no fue el caso y tampoco se observaron diferencias significativas en comparación con el grupo control. Por lo que en este estudio se observó un aumento de las concentraciones de lactato sin un aumento de la acidez sistémica, algo que ya fue observado en el estudio de Chung y col [249], que lo argumentaron debido a un aumento de las concentraciones de carnosina muscular en el gastrocnemio y el sóleo, permitiendo amortiguar el aumento de los H^+ a nivel intramuscular. Por lo tanto, se podría llegar a entender que a medida que se acumulan los H^+ y el lactato excedente es expulsado, se hubieran ido tamponando y eliminando a través de la respiración [249].

Otra de las razones que podría explicar el comportamiento del grupo con consumo de β -alanina, es que el lactato fuera transportado hacia el exterior del miocito sin la presencia de H^+ , es decir, con la presencia de otro catión monovalente que pudiera mantener la neutralidad eléctrica en el intercambio, ya sea mediante el K^+ o Na^+ , o incluso de forma independiente [184]. Sin embargo, esto no podría ocurrir de esta forma debido a que la unión de los H^+ al residuo 38 de lisina (K38) de MCT1 es el único que permite abrir el canal y completar el ciclo de transporte mediante interacciones electrostáticas [300], lo que no se puede realizar el transporte de lactato con otro tipo de catión que no sea el H^+ .

Por otro lado, Karagiannis y col [301] demostraron que en el sistema nervioso central se produce un transporte de Lavia por semicanales de connexina y panexina situados en las uniones gap, al igual que también son permeables a moléculas como el ATP, el glutamato o la glucosa, y que este transporte se produce en situaciones de baja presión parcial de O_2 (pO_2) y alta presión parcial de CO_2 (pCO_2), características en la actividad física de alta intensidad. Estos mismos semicanales de connexina y panexina también se expresan en el músculo esquelético [302], por lo que podría ser que en el miocito ocurriera lo mismo. Es decir, debido a la mayor amortiguación de H^+ por parte de las concentraciones de carnosina, el excedente de lactato podría estar siendo transportado a través de dichos semicanales a favor de un gradiente en paralelo con el MCT1, provocando una mayor elevación de lactato circulante sin un descenso concomitante del pH sanguíneo.

6.1.3 Importancia de la cadencia de pedaleo

Actualmente no está claro si la cadencia de pedaleo es un factor importante en el rendimiento de los ciclistas de ruta. Sin embargo, si se ha determinado que, en ciclistas con un rendimiento similar, durante cualquier etapa de competición, obtienen cadencias parecidas (80-99 rpm etapas en llano; 62-80 rpm para ascensos en puertos de montaña [303]) y por tanto podría contribuir en el rendimiento. Al tener en cuenta el perfil metabólico, Coast y Welch [304], determinaron que los ciclistas entrenados en el momento de aumentar los niveles de potencia para conseguir finalizar un puerto (300-375W) [305,306], debían de aumentar la cadencia de pedaleo, mínimo a 80 rpm, datos no demostrados con ciclistas profesionales, que ante una elevada demanda de potencia, disminuían su cadencia de pedaleo [303]. Esto ha sido corroborado por otros estudios, donde establecen que la mayor eficiencia depende de la adaptación al entrenamiento, vinculada con el rendimiento del ciclista [307,308] y correlacionada con el porcentaje de reclutamiento de fibras tipo I que sea capaz de reclutar y los años de experiencia [309]. Sin embargo, hay otros autores que determinan que esta eficiencia no depende del nivel de entrenamiento (ciclistas profesionales – ciclistas amateurs), a pesar de las diferencias entre ambos [310,311], sino que depende de la cadencia de pedaleo y la producción de potencia. Esto es debido a que se ha determinado que una mayor eficiencia lleva consigo un gasto menor de energía, por lo que pedalear a 100 rpm podría beneficiar el rendimiento en un test incremental hasta el agotamiento [290,312].

La eficiencia en el ciclismo se debe a varios factores, como la energía utilizada por las piernas para poder superar la resistencia de los pedales (trabajo mecánico externo), el oxígeno consumido (respiratorio, cardíaco y músculos posturales) y el trabajo interno [313]. Este trabajo interno se incrementa al hacerlo la cadencia de pedaleo [314] debido a la necesidad de activar y relajar las fibras musculares [315] y la fuerza necesaria para poder superar la inercia del desplazamiento vertical de las piernas [316].

El aumento de la cadencia de pedaleo lleva consigo un aumento de la acumulación de lactato en sangre, tanto en ciclistas desentrenados [317] como en ciclistas entrenados [318], por lo que pruebas con cadencias altas pueden contribuir a un aumento de la fatiga, ya sea por un aumento de la velocidad de

producción de ácido láctico, como por una acumulación de H^+ intramuscular [315].

Un estudio llevado a cabo por Lucía y col [306] determinó que cuando los ciclistas profesionales pedalean a $366 \pm 37W$ las concentraciones de lactato son mayores al disminuir las cadencias, siendo la razón de esto que al pedalear a 60 rpm se requiere de un mayor reclutamiento de fibras tipo II, y por tanto se produce una mayor cantidad de ácido láctico [290]. Esta afirmación se basó en el estudio llevado a cabo por Ahlquist y col [319] donde el agotamiento de glucógeno fue mayor cuando se redujo la cadencia de pedaleo de 90 rpm a 50 rpm en sujetos no entrenados. Sin embargo, los resultados obtenidos por Mora-Rodríguez y Aguado-Jimenez [290] determinaron que la estimación de la glucogenólisis no solamente se encontraba con cadencias bajas (60 rpm) sino que también con cadencias altas (120 rpm). Esto es lo que se observa también en el presente estudio, donde la cadencia media con la que se lleva a cabo la prueba de contrarreloj es de 106,5 rpm. La explicación de ello puede ser debida a que a estas cadencias se requiere de una mayor velocidad de acortamiento que podría provocar un reclutamiento de fibras de contracción rápida mucho mayor [320]. Además, a medida que se aumenta la resistencia de pedaleo, también se requerirá una mayor fuerza muscular, y un mayor reclutamiento de unidades motoras más grandes [321,322].

La disminución del rendimiento en el grupo control durante la prueba podría ser inducida por un aumento de la fatiga, la cual podría ser provocada por una mayor velocidad de producción de ácido láctico y una acumulación de H^+ en los músculos involucrados [315]. Aunque las concentraciones de lactato eran elevadas en ambos grupos, se comportaron de forma diferente, algo que no se vio reflejado en el pH sanguíneo, que se comportó de la misma forma en ambos grupos, probablemente debido al sistema de tamponamiento de la sangre. En un estudio llevado a cabo anteriormente [290], una elevada concentración de lactato en sangre durante una prueba a 120 rpm, no implicó una mayor glucogenólisis. Sin embargo, si provocó una hiperventilación e hipocapnia, encontrando una reducción en la presión parcial de CO_2 , que permitió una mayor utilización del bicarbonato en sangre para poder compensar la disminución del pH. En el presente estudio no se puede observar de forma tan clara estos procesos (seguramente por la baja potencia estadística) pero si se puede observar en el

grupo experimental una tendencia al aumento de los niveles de bicarbonato en sangre y un aumento de la presión parcial de CO₂, lo que da a entender una menor tasa de aparición de H⁺ en el torrente sanguíneo durante la prueba.

Además, el hecho de pedalear a potencias elevadas (~200W en sujetos desentrenados, por lo que en sujetos entrenados deberían de ser superiores) y cadencias bajas de 50 rpm, provoca una reducción del flujo sanguíneo a los cuádriceps durante el primer tercio del ciclo de pedalada [323]. Esto determinaría que si los ciclistas utilizan cadencias más elevadas podrían evitar esta isquemia temporal. Por tanto, el aumento en el trabajo interno provocado por un mantenimiento de las cadencias [324] explicaría una reducción en el rendimiento, tal y como se puede observar en el grupo control en el presente estudio, que obtiene un peor rendimiento, pero mantiene los valores de cadencia en la misma línea que en la prueba inicial.

6.2 PRUEBA CONTRARRELOJ CON LIMITACIÓN DE DISTANCIA

En relación a la contrarreloj con limitación de distancia, los resultados obtenidos mostraron que una carga de alta dosis de β-alanina a corto plazo mejoró la capacidad de ciclismo de alta intensidad, el tiempo requerido para recorrer la distancia establecida y la potencia relativa de los ciclistas de élite mundial que participaron en un plan de entrenamiento intensivo en comparación con un placebo.

Al tener en cuenta la variable del tiempo en la contrarreloj con limitación de distancia, en los ciclistas del grupo experimental se puede observar una disminución de 30,1 segundos después de la semana de suplementación, determinando diferencias significativas al compararlos con la primera prueba que realizaron ($p < 0,039$). En esta prueba de 4,5 km, al igual que en la anterior, se esperaba un comportamiento como el llevado a cabo por el grupo control, un empeoramiento a causa de la acumulación de fatiga debido a la concentración de entrenamiento intensivo. A pesar de empeorar 12 segundos, no se muestran diferencias significativas en este grupo ($p = 0,321$). La diferencia en el segundo día de medición entre ambos grupos, de casi un min (53,7 segundos) determina que haya diferencias entre ambos grupos ($p < 0,035$), y que por tanto el consumo de β-

alanina mejora el rendimiento de esta prueba. Al tener en cuenta cada uno de los tramos en los que se dividió la prueba, el grupo experimental mejora en la mayoría de ellos, obteniendo valores significativos o con tendencia a ello hasta el tramo 5, es decir, en los primeros 2,5 km. Al final de la prueba, el grupo con consumo de β -alanina aumentó el tiempo del tramo, posiblemente debido a que conocían la mejora que habían realizado y no requerían de un sprint final. Sin embargo, en el grupo control si ocurre este sprint final, los valores de aumento de tiempo son menores en los últimos tramos de la contrarreloj.

Al tener en cuenta la potencia, se analizó tanto la media como la potencia relativa. En los valores de potencia relativa se obtuvo que la suplementación con β -alanina provoca una mejora significativa ($p < 0,033$) permitiendo a los sujetos aumentar los valores medios de la misma. Al determinar la media de cada uno de los grupos se puede ver que el grupo experimental es capaz de aumentar dichos valores en 0,11 W/Kg ($p = 0,086$), mientras que en el grupo control se observa todo lo contrario, una disminución de los mismos en 0,09 W/Kg ($p = 0,139$). Con respecto a la potencia media se observa la misma tendencia que la mencionada anteriormente, el grupo experimental aumenta los valores medios en 21,4 W ($p < 0,050$) y el grupo control los disminuye en 3,7 W ($p = 0,687$). En relación a la potencia por tramos, el grupo experimental consigue los valores más significativos al inicio de la prueba, pudiendo alcanzar en los primeros 500 m valores medios de 620 W. El grupo control a partir de los 3 km comienza a obtener incrementos en los valores medios con respecto a la primera prueba, en línea con lo comentado anteriormente en la variable de tiempo.

En esta contrarreloj con limitación de distancia, los valores de FC determinan que existe una tendencia a que el grupo experimental aumente los valores medios de la misma (aumento de 1,9 lat/min) mientras que el grupo control los disminuya (disminución de 4,1 lat/min). Esto se puede observar en los valores obtenidos por cada tramo de 500 m, ya que durante los primeros 3 km existe una significancia o una tendencia a la misma a que el grupo con consumo de β -alanina aumente los valores de FC.

Al igual que lo observado en la contrarreloj con limitación temporal comentada anteriormente, la suplementación durante una semana mejoró los niveles de lactato en sangre. A pesar de que ambos grupos realizan las pruebas al máximo en ambas ocasiones, el grupo control obtiene diferencias significativas

($p < 0,025$) al comparar el final de prueba en los dos momentos. Después de la semana de entrenamiento este grupo disminuye los valores en 2,5 mmol/L, lo que determina que no son capaces de mantener un aumento de acidosis, debido seguramente, al acumulo de fatiga de la semana de entrenamiento [284]. En relación al grupo experimental, obtienen valores máximos de 13,3 mmol/L tras los 3 min de finalización de la prueba, siendo estos valores 3,2 mmol/L más que en la primera prueba antes del consumo de suplementación. Aun encontrando estas diferencias solo se puede determinar que hay una tendencia a la significancia al comparar ambos grupos para esta variable ($p = 0,075$), quizás debido a la baja potencia estadística por el número de participantes en este estudio.

6.3 DISCUSIÓN GENERAL

Anteriormente, factores como la táctica de equipo y la variabilidad de la potencia durante las carreras ciclistas de salida masiva han limitado la capacidad de hacer comparaciones significativas entre las pruebas de laboratorio y el rendimiento en competición. Los resultados del estudio llevado a cabo por Quod y col [72] indican que la potencia máxima producida entre 60 - 600 segundos durante una serie de carreras ciclistas de salida masiva es similar a la potencia producida durante una prueba de perfil de potencia en laboratorio en ciclistas masculinos. Aunque los resultados de dicho estudio indican que la potencia producida en el laboratorio es comparable con la alcanzada en carrera, puede que sea válido para carreras donde el ciclista sale en solitario, como son las contrarrelojes. Esto es debido a la naturaleza táctica de las carreras de carretera con salida masiva, donde existe una mayor probabilidad de que un ciclista no proporcione un esfuerzo máximo durante la prueba, repercutiendo el formato de carrera y el terreno de la misma [43]. En el presente estudio, los resultados son semejantes a los observados en los estudios anteriores, al comparar ambas pruebas de contrarreloj (laboratorio y campo), se puede determinar que los ciclistas no solamente son capaces de mantener los valores obtenidos en la contrarreloj con limitación temporal en condiciones de laboratorio, sino que, además, fueron capaces de aumentar las mejoras, siendo claramente el consumo de suplementación de β -alanina el responsable de dicha mejora.

Lo observado en esta contrarreloj y en línea con la anterior, la suplementación con β -alanina podría prevenir la disminución del pH intracelular durante el ejercicio de alta intensidad (generado por un aumento de la biodisponibilidad de carnosina muscular) y, como consecuencia, generar menos acumulación de lactato con la misma intensidad de ejercicio físico [233,325]. A pesar de que la acumulación de lactato no es la causa final de un aumento de las concentraciones y acumulación de H^+ , si está relacionado con la disminución del pH. Por lo que, un aumento de las concentraciones de lactato intramuscular y sanguíneo simultáneamente, convierte esta variable en un buen marcador de esfuerzo físico [211].

Al evaluar la percepción subjetiva del esfuerzo se puede observar que, en la contrarreloj con limitación de tiempo, aunque no se encuentran diferencias significativas al comparar ambos grupos, sí se observan diferencias entre ambos días. En el segundo día es donde se detallan valores más altos con respecto a la primera prueba, observándose en ambos grupos ($p < 0,050$ en el grupo experimental y $p < 0,030$ en el grupo control). Sin embargo, en la contrarreloj con limitación de distancia los valores encontrados entre ambas pruebas son muy homogéneos, no detectando diferencias en esta variable, tal y como han reflejado en otros estudios anteriores [249,259]. Las razones por las cuales no se hayan encontrado diferencias en esta variable y no se corrobore lo encontrado en otros estudios que determinan que la β -alanina podría contribuir a una disminución de la percepción del esfuerzo, puede ser inducida por dos factores. El primero de ellos porque el esfuerzo que realizan es constante, sin descanso intermedio que les permita recuperar y tener la sensación de un menor acumulo de fatiga, como podría ocurrir en el estudio llevado a cabo por Glenn y col [261] donde realizaban 3 Wingates y tenían un tiempo de descanso. Otro factor puede ser debido a que la prueba de contrarreloj planteada era un test maximal [234], donde se les exigía su máximo rendimiento, por lo que el esfuerzo que realizaron los ciclistas fue máximo para ambos grupos.

En relación con la RPE, algunos estudios han demostrado una buena correlación entre la RPE y la FC durante el ejercicio físico en sujetos sanos (1 punto de RPE equivale aproximadamente a 10 lat/min). Más aún, los umbrales metabólicos se han asociado con valores específicos en la escala de Borg [326]. Asimismo, se ha demostrado que un menor valor de RPE para la misma carga de

trabajo conlleva una adaptación metabólica tras el proceso de entrenamiento [327]. A pesar de estas líneas de evidencia teórica, los estudios incluidos en un metaanálisis llevado a cabo por Huerta y col [76] mostraron un efecto insignificante sobre el RPE informado por los participantes. Este valor puede derivarse del nivel de demanda experimentado por el participante; también es posible que se hayan esforzado al máximo en todas las pruebas, alcanzando los límites superiores de las escalas de RPE utilizadas [326]. Esto va en línea con lo encontrado en este estudio en ambas pruebas, donde los sujetos determinan en todo momento que el esfuerzo realizado es muy duro, con una media por encima de 9 puntos.

Como consecuencia de la mejora de la contractilidad cardíaca, se ha descrito que la carnosina puede aumentar la FC [232]. Además, el pH intracelular ha demostrado ser un modulador de la función cardíaca, aumentando la entrada de Ca^{2+} durante los potenciales de acción, facilitando la contracción cardíaca [328]. Esta información permite anticipar un aumento de la FC después de la suplementación con β -alanina [232]. Sin embargo, la FC depende de la intensidad del esfuerzo físico; por tanto, si los participantes se esfuerzan al máximo en todas las pruebas, es probable que los valores de FC post-esfuerzo no muestren grandes variaciones al suplementarse con β -alanina. Se requieren de más estudios para verificar si la tendencia encontrada en este estudio, con un mayor número de sujetos, podría dar lugar a lo encontrado por otros estudios.

El aumento del rendimiento en las zonas de transición aeróbico-anaeróbico se asocia con una mayor disponibilidad de carnosina muscular [231,233]. De esta manera, la evidencia ha demostrado que la suplementación prolongada de β -alanina en dosis que oscilan entre 2,0 y 6,4 g / día durante 4 a 10 semanas puede aumentar las concentraciones de carnosina entre el 64 y el 80% [154]. Hasta el momento la suplementación aguda tiene una evidencia muy escasa [329]. Sin embargo, Huerta y col [329] realizaron una suplementación con 30 mg · kg⁻¹ de masa corporal (1,5 – 2,1 g / día) de β -alanina 60 min antes de una prueba hasta el agotamiento. Estos investigadores obtuvieron un aumento promedio de 40,5 segundos al final del estudio ($p < 0,05$), determinando que el aumento del rendimiento físico observado podría estar respaldado por una mayor biodisponibilidad de carnosina muscular, un aumento que se observa poco después de la ingesta de β -alanina [330]. Teniendo en cuenta estos datos, cabe

esperar lo encontrado en este estudio, donde el consumo crónico de β -alanina durante una semana ha conseguido mejorar casi un min el tiempo de la prueba. Teniendo en cuenta que el rendimiento de un deportista de élite está limitado por márgenes extremadamente estrechos (probablemente difíciles de medir estadísticamente), en la práctica real, una diferencia pequeña podría ser de gran importancia, ya que se ha comprobado que en finales mundiales, se puede encontrar entre el primer y el último lugar diferencias inferiores al 3% [77].

Por otro lado, un hallazgo importante encontrado en este estudio fue la ausencia de parestesias en los sujetos con suplementación de β -alanina, con una carga de 155 g en tan sólo una semana. Hasta el momento existen una variedad de estudios que han estudiado el efecto de la β -alanina en ciclistas, y en todos ellos el factor limitante ha sido la dosificación de la suplementación debido a la aparición de parestesias [142,217,228–230,249,257–262]. Aunque algunos estudios no determinan el tipo de molestias que presentan [142,217,229,230,258–260], hay otros donde aun utilizando β -alanina de liberación sostenida determinan síntomas de parestesia, sin demostrar ningún patrón que pueda determinar dicho fenómeno [228,261,266]. Dos estudios llevados a cabo con ciclistas femeninas determinaron que las dosis que requieren para alcanzar los mismos incrementos de carnosina muscular que los hombres, eran menores y, además, son más propensas a mostrar sintomatología de parestesia [93,172]. Es por ello por lo que el hecho de que los ciclistas de este estudio no hayan determinado esta sintomatología puede deberse a que eran hombres o por la propia fórmula de la mezcla de β -alanina administrada que fue diseñada para mejorar la adaptabilidad sistémica.

Por último, se sigue desconociendo el efecto agudo del consumo de β -alanina, por lo que un consumo de 20g/día, como el llevado a cabo en este estudio, podría repercutir en los resultados encontrados. Al explorar los efectos de la suplementación con β -alanina informada (no ciega) versus no informada (ciega), se determinó un posible aumento en la producción de potencia media (no concluyente para la mejora del rendimiento) [162], mientras que las ciclistas entrenadas (consideradas más sensible a los aumentos de carnosina según los autores del artículo) no mejoró la potencia media durante una prueba de Wingate [261]. Parece poco probable que una sola dosis pueda aumentar la carnosina lo suficiente como para mejorar la amortiguación intramuscular, pero las creencias

de los ciclistas sobre un efecto pueden haber influido en el esfuerzo máximo realizado en la contrarreloj con limitación temporal. En el presente estudio los resultados muestran que la mayoría de los ciclistas creían que estaban recibiendo β -alanina independientemente del tratamiento (cuatro de cada cinco en el grupo con consumo de β -alanina y cuatro de seis en el grupo placebo), equilibrando esta posible influencia.

VII - CONCLUSIONES

VII - CONCLUSIONES

Al evaluar la eficacia del consumo de 20 g/día de β -alanina con una mezcla en polvo de liberación sostenida durante una semana de entrenamiento intensivo en ciclistas profesionales de carretera en dos pruebas de contrarreloj, una con limitación temporal y la otra con limitación de distancia se puede concluir que:

- El consumo de β -alanina mejoró la distancia recorrida en la contrarreloj con limitación temporal en un 3,54% y el tiempo de la contrarreloj con limitación de distancia en un 6,85%.
- El consumo de β -alanina ayudó a atenuar las pérdidas de rendimiento ocasionadas por el entrenamiento intensivo de la semana en la prueba de contrarreloj con limitación temporal.
- Se observó un incremento en los niveles de lactato y en la brecha aniónica en el grupo con consumo de β -alanina en la contrarreloj con limitación temporal, por lo que probablemente pueden mantener el rendimiento aún con un aumento de la acidosis metabólica.
- En la prueba contrarreloj con limitación de distancia, el grupo con consumo de β -alanina mejoró la potencia relativa en comparación con el grupo con consumo de placebo.
- El grupo placebo disminuye los valores de lactato y FC en la contrarreloj con limitación de distancia.
- El consumo de β -alanina mejoró y aumentó el rendimiento en la contrarreloj con limitación de distancia después de una semana con una carga de entrenamiento intensa.

- Debido a la nueva formulación de liberación sostenida de β -alanina ninguno de los ciclistas experimentó parestesias, a pesar de ser la dosis referenciada más elevada hasta el momento.

- El consumo de altas dosis de β -alanina durante una semana, no produce ningún acontecimiento adverso que pudiera ser relacionado con la ingesta del producto en ninguno de los sujetos analizados.

VIII – LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las altas dosis de β -alanina puede representar una estrategia eficaz a corto plazo para poder mantener el rendimiento de los ciclistas de tour mundial que compiten en etapas cortas de contrarreloj durante etapas fisiológicamente exigentes. Es por ello por lo que se podría determinar que el estudio llevado a cabo en esta tesis tiene varios puntos fuertes, como son:

- La muestra utilizada en el estudio, siendo ciclistas de nivel mundial de la UCI.
- Las dosis planteadas, que fueron dosis única más alta de β -alanina (5 g por dosis única), y la dosis diaria (20 g diarios) alcanzada hasta la fecha en cualquier población.
- La novedosa mezcla en polvo de β -alanina de liberación sostenida, que no solamente permitió dar dosis elevadas, sino que reducir el tiempo de ingesta y no ocasionar parestesias en los sujetos. Provocando un posible aumento de los niveles de carnosina muscular en un periodo corto de tiempo.
- Las pruebas utilizadas en el estudio, ya que no solamente se midió el rendimiento en condiciones de laboratorio (contrarreloj con limitación temporal), sino que se midieron los efectos del consumo de β -alanina en una prueba en condiciones reales (contrarreloj con limitación de distancia), que los ciclistas realizan de forma habitual.

Sin embargo, este ensayo clínico tiene diversas limitaciones. La principal limitación a la hora de realizar este proyecto de investigación ha sido el tamaño muestral. El bajo número de sujetos ha determinado una disminución de la potencia estadística de los resultados. Si se hubiese tenido acceso a una muestra mayor de sujetos es posible que se pudiera haber tenido significancias en las tendencias que se han encontrado en algunas variables de este estudio. Además, el otro limitante del estudio es el no poder medir el incremento real de la carnosina muscular. En este estudio se ha asumido, siguiendo estudios como los

de Spelnikov y Harris y Church y col [116,166] entre otros, que habría un aumento de las concentraciones de carnosina muscular debido al incremento de las dosis ingeridas cada día durante los 7 días de consumo y el potencial de los músculos entrenados. Además de lo comentado en el estudio de Salazar y col [175] donde determinan que tras el consumo de una formulación de liberación sostenida, aumenta la biodisponibilidad sanguínea de β -alanina, por lo que podría dar lugar a un aumento de los almacenes de carnosina. Sin embargo, el aumento real no fue medido ni por biopsia muscular ni espectrometría de resonancia magnética. Al trabajar con ciclistas de alto nivel tampoco se pudo comprobar y determinar si el consumo de dosis tan elevadas muestra algún acontecimiento adverso en la función hepática y renal, ya que no se pudo controlar la tolerabilidad y seguridad del mismo. Por último, fue la primera vez que se suministró 5 g de β -alanina en una sola dosis, y actualmente se desconoce el efecto instantáneo que tiene este tipo de suplementación.

Para futuras líneas de investigación, se propone:

- Aumentar el tamaño muestral del estudio, con el objetivo de poder tener una mayor potencia estadística y atribuir los cambios encontrados en este estudio al consumo de esta nueva formulación de β -alanina.
- Conocer los niveles de concentración de carnosina muscular con la ingesta de β -alanina, para corroborar que el efecto del consumo de esta suplementación provoca un aumento de estas concentraciones y, además, con el objetivo de conocer la situación metabólica de las células musculares. Para esto es necesario llevar a cabo biopsias musculares.
- Descartar que el consumo de β -alanina pueda ocasionar algún efecto indeseado que no se haya medido en este estudio. Para ello es necesario comprobar que altas dosis de esta suplementación no provoca ningún tipo de daño hepático ni renal. A pesar de que la acumulación fue similar a otros estudios, donde suministraban aproximadamente entre 130-200 g a lo largo de 4-8 semanas, el acumular 155 g en tan solo una semana hace necesario comprobar que no existe ningún tipo de riesgo.

- Al ser la primera vez que se suministró 5 g de β -alanina en una sola dosis, se hace necesario conocer el efecto agudo que tiene esta suplementación. Aunque parece poco probable que una sola dosis pueda aumentar los niveles de carnosina muscular lo suficiente como para mejorar la amortiguación intramuscular. Hasta el momento sólo hay un estudio con ciclistas en el que llevan a cabo una contrarreloj de 1 km y encontraron un posible aumento de la potencia media. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes ya que el estudio no fue cegado y, además, por el tiempo de prueba llevada a cabo [162].
- Aumentar el tiempo de consumo. En este estudio se trabajó con una acumulación de 155 g de β -alanina, valores similares a lo que hasta el momento se ha encontrado publicado. Sin embargo, se nos plantea conocer qué pasaría si estas dosis de 20 g/día se consumen durante 4 semanas, que es el tiempo medio de todas las publicaciones actuales, provocando una acumulación de 560 g de β -alanina.
- Además de aumentar el número de sujetos implicados en el estudio, se requiere conocer si estos efectos encontrados en ciclistas de alto nivel también se pueden extrapolar a ciclistas amateur, altamente entrenados y en modalidades de contrarreloj.
- Y, por último, en futuras investigaciones se requiere que se evalúe el por qué esta β -alanina de liberación sostenida no provoca parestesias. Todo apunta a que sea debido a que no se provoca un pico a nivel sanguíneo y el aporte progresivo no es capaz de inducir a este tipo de molestias.

Las investigaciones futuras podrían considerar las fases de carga de alta dosis a corto plazo como una estrategia factible para preservar la capacidad ciclista en las etapas de contrarreloj cortas de los atletas de élite competitivos durante períodos físicamente exigentes.

IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Federaciones con más deportistas federados en España | disponible online: <https://es.statista.com/estadisticas/1051888/ranking-de-federaciones-con-mas-deportistas-federados-espana/> (acceso el 30 Oct, 2021).
2. Sanders, D.; Erp, T.; van Erp, T.; de Koning, J. Intensity and load characteristics of professional road cycling: differences between men's and women's races. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *12*, 296–302.
3. Metcalfe, A.J.; Menaspà, P.; Villerius, V.; Quod, M.; Peiffer, J.J.; Govus, A.D.; Abbiss, C.R. within-season distribution of external training and racing workload in professional male road cyclists. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, S2-142.
4. The Monuments: The Grit and the Glory of Cycling's Greatest One-day Races - Peter Cossins - Google Libros. Disponible online: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=667fAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=the+sprint+classics:+cycling%27s+greatest+one-day+races+bouvet&ots=gud8CsYtc&sig=eizExO8CxSlfjxSBtoBDy3aW6_k#v=onepage&q&f=false (acceso el 13 Sep, 2021).
5. Lucía, A.; Hoyos, J.; Chicharro, J.L. Physiology of professional road cycling. *Sport. Med.* **2001**, *31*, 325–337.
6. Sanders, D.; Heijboer, M. Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour. *Eur. J. Sport Sci.* **2018**, *19*, 736–744.
7. Lucía, A.; Joyos, H.; Chicharro, J.L. Physiological Response to Professional Road Cycling: Climbers vs. Time Trialists. *Int. J. Sports Med.* **2000**, *21*, 505–512.
8. Fernández-García, B.; Pérez-Landaluce, J.A.; Rodríguez-Alonso, M.; Terrados, N. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 1002–1006.
9. Padilla, S.; Mujika, I.; Santisteban, J.; Impellizzeri, F.M.; Goiriena, J.J. Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week

- paces. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2007**, *102*, 431–438.
10. McCole, S.D.; Clancy, K.; Conte, J.C.; Anderson, R.; Hagberg, J.M. Energy expenditure during bicycling. *J. Appl. Physiol.* **1990**, *68*, 748–753.
 11. Wolski, L.A.; McKenzie, D.C.; Wenger, H.A. Altitude training for improvements in sea level performance. *Sport. Med.* **1996**, *22*, 251–263.
 12. Swain, D.P. The influence of body mass in endurance bicycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1994**, *26*, 58–63.
 13. Lucía, A.; Hoyos, J.; Carvajal, A.; Chicharro, J.L. Heart Rate Response to Professional Road Cycling: The Tour de France. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *20*, 167–172.
 14. Padilla, S.; Mujika, I.; Orbananos, J.A.; Ángulo, F. Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 850–856.
 15. Padilla, S.; Mujika, I.; Cuesta, G.; Goirienea, J.J. Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1999**, *31*, 878–885.
 16. Lucía, A.; Carvajal, A.; Calderón, F.J.; Alfonso, A.; Chicharro, J.L. Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1999**, *79*, 512–521.
 17. Lucía, A.; Pardo, J.; Durántez, A.; Hoyos, J.; Chicharro, J.L. Physiological Differences Between Professional and Elite Road Cyclists. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *19*, 342–348.
 18. Pallarés, J.G.; Morán-Navarro, R.; Ortega, J.F.; Fernández-Elías, V.E.; Mora-Rodríguez, R. Validity and Reliability of Ventilatory and Blood Lactate Thresholds in Well-Trained Cyclists. *PLoS One* **2016**, *11*, e0163389.
 19. Swain, D.P.; Coast, J.R.; Clifford, P.S.; Milliken, M.C.; y Stray-Gundersen, J. Influence of body size on oxygen consumption during bicycling. *J. Appl. Physiol.* **1987**, *62*, 668–672.
 20. di Prampero, P.E.; Cortili, G.; Mognoni, P.; y Saibene, F. Equation of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiol.* **1979**, *47*, 201–206.
 21. Mujika, I.; Padilla, S. Physiological and Performance Characteristics of Male Professional Road Cyclists. *Sport. Med.* **2001**, *31*, 479–487.
 22. Schwelnus, M.; Soligard, T.; Alonso, J.-M.; Bahr, R.; Clarsen, B.; Dijkstra, H.P.; Gabbett, T.J.; Gleeson, M.; Häggglund, M.; Hutchinson, M.R.; et al.

- How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *50*, 1043–1052.
23. Schwellnus, M.; Soligard, T.; Alonso, J.; Bahr, R.; Clarsen, B.; Dijkstra, H.P.; Gabbett, T.; Gleeson, M.; Häggglund, M.; Hutchinson, M.R.; et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *50*, 1030–1041.
 24. Meeusen, R.; Duclos, M.; Foster, C.; Fry, A.; Gleeson, M.; Nieman, D.; Raglin, J.; Rietjens, G.; Steinacker, J.; Urhausen, A. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *Eur. J. Sport Sci.* **2012**, *13*, 1–24.
 25. Garatachea, N.; García-López, D.; José Cuevas, M.; Almar, M.; Molinero, O.; Márquez, S.; y González-Gallego, J. Biological and psychological monitoring of training status during an entire season in top kayakers Related papers. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2011**, *51*, 339.
 26. Impellizzeri, F.M.; Marcora, S.M.; Coutts, A.J. Internal and External Training Load: 15 Years On. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 270–273.
 27. Halson, S.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sport. Med.* **2014**, *44*, 139–147.
 28. Foster, C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1998**, *30*, 1164–1168.
 29. Banister, E.W.; y Calvert, T.W. Planning for future performance: implications for long term training. *Can. J. Appl. Sport Sci.* **1980**, *5*, 170–176.
 30. Kellmann, M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2010**, *20*, 95–102.
 31. Kaikkonen, P.; Rusko, H.; Martinmäki, K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* **2008**, *18*, 511–519.
 32. Buchheit, M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front. Physiol.* **2014**, *5*, 73.
 33. Sanders, D.; Heijboer, M.; y Hesselink, M.K.C.; Myers, T.; Akubat, I. Analysing a cycling grand tour: Can we monitor fatigue with intensity or

- load ratios? *J. Sports. Sci.* **2017**, *36*, 1385–1391.
34. Harnish, C.; King, D.; Swensen, T. Effect of cycling position on oxygen uptake and preferred cadence in trained cyclists during hill climbing at various power outputs. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2006**, *99*, 387–391.
 35. Bertucci, W.M.; Betik, A.C.; Duc, S.; Grappe, F. Gross Efficiency and Cycling Economy Are Higher in the Field as Compared with on an Axiom Stationary Ergometer. *J. Appl. Biomech.* **2012**, *28*, 636–644.
 36. Nimmerichter, A.; Prinz, B.; Haselsberger, K.; Novak, N.; Simon, D.; Hopker, J.G. Gross Efficiency During Flat and Uphill Cycling in Field Conditions. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2015**, *10*, 830–834.
 37. Padilla, S.; Mujika, I.; Orban, J.; Santisteban, J.; Angulo, F.; José Goiriena, J. Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med. Sci. Sport. Exerc.* **2001**, *33*, 796.
 38. Vogt, S.; Heinrich, L.; Schumacher, O.; Blum, A.; Roecker, K.; Dickhuth, H.-H.; Schmid, A. Output during Stage Racing in Professional Road Cycling. *Med. Sci. Sport. Exerc* **2006**, *38*, 147–151.
 39. Millet, G.P.; Tronche, C.; Grappe, F. Accuracy of indirect estimation of power output from uphill performance in cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 777–782.
 40. Atkinson, G.; Davison, R.; Jeukendrup, A.; y Passfield, L. Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *J. Sports Sci.* **2008**, *21*, 767–787.
 41. Smekal, G.; Duvillard, S.P. von; Hörmandinger, M.; Moll, R.; Heller, M.; Pokan, R.; Bacharach, D.W.; LeMura, L.M.; Arciero, P. Physiological demands of simulated off-road cycling competition. *J. Sports Sci. Med.* **2015**, *14*, 799.
 42. Peinado, A.B.; Romero-Parra, N.; Rojo-Tirado, M.A.; Cupeiro, R.; Butragueño, J.; Castro, E.A.; Calderón, F.J.; Benito, P.J. Physiological profile of an uphill Time Trial in Elite cyclists. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 268–273.
 43. Vogt, S.; Schumacher, Y.O.; Roecker, K.; Dickhuth, H.-H.; Schoberer, U.; Schmid, A.; Heinrich, L. Power output during the Tour de France. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *28*, 756–761.
 44. Lucía, A.; Hoyos, J.; Santalla, A.; Earnest, C.; y Chicharro, J. L. Tour de

- France versus Vuelta a Espana: which is harder?. *Med. Sci. Sports. Exerc.* **2003**, *35*, 872-878.
45. Bouillod, A.; Pinot, J.; Soto-Romero, G.; Bertucci, W.; Grappe, F. Validity, sensitivity, reproducibility, and robustness of the PowerTap, Stages, and Garmin Vector power meters in comparison With the SRM Device. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, 1023–1030.
 46. Gardner, A.S.; Stephens, S.; Martin, D.T.; Lawton, E.; Lee, H.; Jenkins, D. Accuracy of SRM and Power Tap power monitoring systems for bicycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2004**, *36*, 1252–1258.
 47. Abbiss, C.R.; Menaspà, P.; Villerius, V.; Martin, D.T. Distribution of power output when establishing a breakaway in cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2013**, *8*, 452–455.
 48. Menaspà, P.; Quod, M.; Martin, D.T.; Peiffer, J.J.; Abbiss, C.R. Physical demands of sprinting in professional road cycling. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 1058–1062.
 49. Vogt, S.; Schumacher, Y.O.; Blum, A.; Roecker, K.; Dickhuth, H.-H.; Schmid, A.; y Heinrich, L. Cycling power output produced during flat and mountain stages in the Giro d'Italia: A case study. *J. Sports Sci.* **2007**, *25*, 1299–1305.
 50. Allen, H.; Coggan, A. Entrenar y correr con potenciómetro. **2014**. Paidotribo.
 51. Faria, E.W.; Parker, D.L.; y Faria, I.E. The science of cycling: factors affecting performance - part 2. *Sports Med.* **2005**, *35*, 313–337.
 52. Atkinson, G.; Peacock, O.; St Clair Gibson, A.; Tucker, R. Distribution of Power Output during cycling. *Sport. Med.* **2007**, *37*, 647–667.
 53. Borg, G.A.V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1982**, *14*, 377–381.
 54. Borg, G.A (November 28, 1927 - February 2, 2020) | A Multilayered Legacy disponible online: <https://www.acsm.org/blog-detail/acsm-blog/2020/02/18/gunnar-borg-perceived-exertion-multilayered-legacy> (acceso el 17 de octubre, 2021).
 55. Albesa Albiol, L. Evaluación del componente lento del consumo de oxígeno, la eficiencia ventilatoria y mecánica en los ejercicios con resistencias. **2020**. Tesis Doctoral

56. Sanders, D.; Abt, G.; Hesselink, M.K.C.; Myers, T.; Akubat, I. Methods of monitoring training load and their relationships to changes in fitness and performance in competitive road cyclists. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2017**, *12*, 668–675.
57. Sanders, D.; Taylor, R.J.; Myers, T.; Akubat, I. A Field-Based Cycling Test to Assess Predictors of Endurance Performance and Establishing Training Zones. *J. Strength Cond. Res.* **2020**, *34*, 3482–3488.
58. Potencia Normalizada: NP y xPower | Ale Martinez Triathlon. Disponible online: <http://www.amtriathlon.com/2010/03/potencia-normalizada-np-y-xpower.html> (acceso el 17 Oct, 2021).
59. Bentley, D.J.; Newell, J.; Bishop, D. Incremental Exercise Test Design and Analysis. *Sport. Med.* **2007**, *37*, 575–586.
60. Dantas, J.L.; Pereira, G.; Nakamura, F.Y. Five-Kilometers Time Trial: Preliminary Validation of a Short Test for Cycling Performance Evaluation. *Asian J. Sports Med.* **2015**, *6*, 23802.
61. Foster, C.; Green, M. A.; Snyder, A. C.; Thompson, N. N. Physiological responses during simulated competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1993**, *25*, 877–882.
62. Hopkins, W.G.; Schabert, E.J.; Hawley, J.A. Reliability of Power in Physical Performance Tests. *Sport. Med.* **2001**, *31*, 211–234.
63. Laursen, P.B.; Shing, C.M.; Jenkins, D.G. Reproducibility of a Laboratory-Based 40-km Cycle Time-Trial on a Stationary Wind-Trainer in Highly Trained Cyclists. *Int. J. Sports Med.* **2003**, *24*, 481–485.
64. Smith, M.F.; Davison, R.C.R.; Balmer, J.; Bird, S.R. Reliability of Mean Power Recorded During Indoor and Outdoor Self-Paced 40 km Cycling Time-Trials. *Int. J. Sports Med.* **2001**, *22*, 270–274.
65. Paton, C.D.; Hopkins, W.G. Tests of Cycling Performance. *Sport. Med.* **2001**, *31*, 489–496.
66. Pinot, J.; Grappe, F. The Record Power Profile to Assess Performance in Elite Cyclists. *Int. J. Sports Med.* **2011**, *32*, 839–844.
67. Francis, J. T.; Quinn, T. J.; Amann, M.; LaRoche, D. P. (2010). Defining intensity domains from the end power of a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc.* **2010**, *42*, 1769-1775.
68. Jones, A.M.; Vanhatalo, A.; Burnley, M.; Morton, R.H.; Poole, D.C.; Jones,

- A.M.; Vanhatalo, A.; Burnley, M.; Morton, R.H.; Poole, D.C. Critical Power: Implications for Determination of VO₂max and Exercise Tolerance Critical Power: Implications for Determination of VO₂max and Exercise Tolerance. *Med. Sci. Sport. Exerc.* **2010**, *42*, 1876–1890.
69. Monod, H.; Scherrer, J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*. **1965**, *8*, 329-338.
70. Moritani, T.; Nagata, A.; Devries, H. A.; Muro, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*. **1981**, *24*, 339-350.
71. Morton, R.H.; Hodgson, D.J. The relationship between power output and endurance: a brief review. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1996**, *73*, 491–502.
72. Quod, M.J.; Martin, D.T.; Martin, J.C.; Laursen, P.B. The Power Profile Predicts Road Cycling MMP. *Int. J. Sports Med.* **2010**, *31*, 397–401.
73. Hopker, J., & Jobson, S. (2012). *Performance cycling: the science of success*. A&C Black. Disponible online: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zJX5ICINru4C&oi=fnd&pg=PR2&dq=Performance+Cycling+-+The+Science+of+Success.&ots=BtAnmCoflZ&sig=utjhktRD0sAxqXvvb5-CJdiEnNE#v=onepage&q=Performance+Cycling+-+The+Science+of+Success.&f=false> (acceso el 1 Nov, 2021).
74. Erp, T. van; Lamberts, R.P.; Sanders, D. Power Profile of Top 5 Results in World Tour Cycling Races. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2021**, *1*, 1–7.
75. Hawley, J.A.; Noakes, T.D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1992**, *65*, 79–83.
76. Huerta Ojeda, Á.; Tapia Cerda, C.; Poblete Salvatierra, M. F.; Barahona-Fuentes, G.; Jorquera Aguilera, C. Effects of beta-alanine supplementation on physical performance in aerobic-anaerobic transition zones: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. **2020**, *12*, 1–20.
77. Moriones, V.S.; Santos, J.I. Ayudas ergogénicas en el deporte. *Nutr. Hosp.* **2017**, *34*, 204–215.
78. Thuyne, W. Van; Eenoo, P. Van; Delbeke, F.T. Nutritional supplements: prevalence of use and contamination with doping agents. *Nutr. Res. Rev.*

- 2006, 19, 147–158.
79. Sousa, M.; Fernandes, M.J.; Moreira, P.; Teixeira, V.H. Nutritional Supplements Usage by Portuguese Athletes. *Int. J. Vitam. Nutr. Res* **2013**, *83*, 48–58.
 80. Baltazar-Martins, G.; Brito de Souza, D.; Aguilar-Navarro, M.; Muñoz-Guerra, J.; Plata, M. del M.; Del Coso, J. Prevalence and patterns of dietary supplement use in elite Spanish athletes. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2019**, *16*, 1–9.
 81. Garthe, I.; Maughan, R.J. Athletes and Supplements: Prevalence and Perspectives. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2018**, *28*, 126–138.
 82. Derave, W.; y Tipton, K.D. Dietary supplements for aquatic sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 437–449.
 83. Frączek, B.; Warzecha, M.; Tyrała, F.; y Pieta, A. Prevalence of the use of effective ergogenic aids among professional athletes. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny.* **2016**, *67*, 271–278
 84. Maughan, R.J.; Burke, L.M.; Dvorak, J.; Larson-Meyer, D.E.; Peeling, P.; Phillips, S.M.; Rawson, E.S.; Walsh, N.P.; Garthe, I.; Geyer, H.; et al. IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2018**, *28*, 104–125.
 85. Kerksick, C.M.; Wilborn, C.D.; Roberts, M.D.; Smith-Ryan, A.; Kleiner, S.M.; Jäger, R.; Collins, R.; Cooke, M.; Davis, J.N.; Galvan, E.; et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2018**, *15*, 1–57.
 86. Thomas, D.T.; Erdman, K.A.; Burke, L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J. Acad. Nutr. Diet.* **2016**, *116*, 501–528.
 87. Knapik, J.J.; Steelman, R.A.; Hoedebecke, S.S.; Austin, K.G.; Farina, E.K.; Lieberman, H.R. Prevalence of Dietary Supplement Use by Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport. Med.* **2016**, *46*, 103–123.
 88. Maughan, R.J.; Depiesse, F.; y Geyer, H. The use of dietary supplements by athletes. *J. Sports Sci.* **2007**, *25*, 103–113.
 89. Dietary Supplements for Exercise and Athletic Performance - Health Professional Fact Sheet disponible online:

- <https://ods.od.nih.gov/factsheets/ExerciseAndAthleticPerformance-HealthProfessional/> (acceso el 2 de octubre, 2021).
90. What is Prohibited | disponible online: https://www.wada-ama.org/en/content/what-is-prohibited?gclid=CjwKCAjwk6-LBhBZEiwAOUUDp7QVyUgmz8McSTG0P7O3mP89XyZhrByPKPezYqSlDFvDI_Fjw3CfmhoCqR0QAvD_BwE (acceso el 17 de octubre, 2021).
 91. Blancquaert, L.; Everaert, I.; Derave, W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2015**, *18*, 63–70.
 92. Blancquaert, L.; Everaert, I.; Missinne, M.; Baguet, A.; Stegen, S.; Volkaert, A.; Petrovic, M.; Vervaet, C.; Achten, E.; De Maeyer, M.; et al. Effects of Histidine and β -alanine Supplementation on Human Muscle Carnosine Storage. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2017**, *49*, 602–609.
 93. Dolan, E.; Swinton, P.A.; Painelli, V. de S.; Stephens Hemingway, B.; Mazzolani, B.; Infante Smaira, F.; Saunders, B.; Artioli, G.G.; Gualano, B. A Systematic Risk Assessment and Meta-Analysis on the Use of Oral β -Alanine Supplementation. *Adv. Nutr.* **2019**, *10*, 452–463.
 94. Hoffman, J.R.; Varanoske, A.; Stout, J.R. Effects of β -Alanine Supplementation on Carnosine Elevation and Physiological Performance. *Adv. Food Nutr. Res.* **2018**, *84*, 183–206.
 95. Fritzsont, P. The catabolism of C14-labeled uracil, dihydrouracil, and β -ureidopropionic acid in rat liver slices. *J. Biol. Chem.* **1957**, *226*, 223–228.
 96. Domínguez, R.; Lougedo, J.H.; Luis Maté-Muñoz, J.; Manuel, Y.; y Garnacho-Castaño, V. Efectos de la suplementación con β -alanina sobre el rendimiento deportivo. *Nutr Hosp.* **2015**, *31*, 155–169.
 97. Harris, R.C.; Wise, J.A.; Price, K.A.; Kim, H.J.; Kim, C.K.; Sale, C. Determinants of muscle carnosine content. *Amin. Acids.* **2012**, *43*, 5–12.
 98. Harris, R. C.; Sale, C. Beta-alanine supplementation in high-intensity exercise. *Med. Sport Sci.* **2012**, *59*, 1–17.
 99. Harris, R.C.; Tallon, M.J.; Dunnett, M.; Boobis, L.; Coakley, J.; Kim, H.J.; Fallowfield, J.L.; Hill, C.A.; Sale, C.; Wise, J.A. The absorption of orally supplied β -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amin. Acids.* **2006**, *30*, 279–289.
 100. Miyamoto, Y.; Nakamura, H.; Hoshi, T.; Ganapathy, V.; Leibach, F.H.

- Uphill transport of beta-alanine in intestinal brush-border membrane vesicles. *J. Physiol.-Gastroint. Liver Physiol.* **1990**, *259*, G372-G379.
101. Everaert, I.; De Naeyer, H.; Taes, Y.; Derave, W. Gene expression of carnosine-related enzymes and transporters in skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2012**, *113*, 1169–1179.
 102. Brisola, G.M.P.; Zagatto, A.M. Ergogenic Effects of β -Alanine Supplementation on Different Sports Modalities: Strong Evidence or only Incipient Findings? *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 253–282.
 103. Perim, P.; Marticorena, F.M.; Ribeiro, F.; Barreto, G.; Gobbi, N.; Kerksick, C.; Dolan, E.; Saunders, B. Can the Skeletal Muscle Carnosine Response to Beta-Alanine Supplementation Be Optimized? *Front. Nutr.* **2019**, *6*, 135.
 104. Ng, R.H.; y Marshall, F.D. Regional and subcellular distribution of homocarnosine–carnosine synthetase in the central nervous system of rats. *J. Neurochem.* **1978**, *30*, 187–190.
 105. Varanoske, A.N.; Hoffman, J.R.; Church, D.D.; Coker, N.A.; Baker, K.M.; Dodd, S.J.; Oliveira, L.P.; Dawson, V.L.; Wang, R.; Fukuda, D.H.; et al. β -Alanine supplementation elevates intramuscular carnosine content and attenuates fatigue in men and women similarly but does not change muscle l-histidine content. *Nutr. Res.* **2017**, *48*, 16–25.
 106. Horinishi, H.; Grillo, M.; Margolis, F.L. Purification and characterization of carnosine synthetase from mouse olfactory bulbs. *J. Neurochem.* **1978**, *31*, 909–919.
 107. Teufel, M.; Saudek, V.; Ledig, J.-P.; Bernhardt, A.; Boularand, S.; Carreau, A.; Cairns, N.J.; Carter, C.; Cowley, D.J.; Duverger, D.; et al. Sequence Identification and Characterization of Human Carnosinase and a Closely Related Non-specific Dipeptidase *. *J. Biol. Chem.* **2003**, *278*, 6521–6531.
 108. Hanson, H.T.; y Smith, E.L. Carnosinase: an enzyme of swine kidney. *J. Biol. Chem.* **1949**, *179*, 789–801.
 109. Boldyrev, A.A.; Aldini, G.; y Derave, W. Physiology and pathophysiology of carnosine. *Physiol. Rev.* **2013**, *93*, 1803–1845.
 110. Lenney, J.F.; Peppers, S.C.; Kucera-Orallo, C.M.; George, R.P. Characterization of human tissue carnosinase. *Biochem. J.* **1985**, *228*, 653–660.
 111. Asatoor, A.M.; Bando, J.K.; Lant, A.F.; Milne, M.D.; Navab, F. Intestinal

- absorption of carnosine and its constituent amino acids in man. *Gut* **1970**, *11*, 250–254.
112. Park, Y. J.; Volpe, S. L.; Decker, E. A. Quantitation of carnosine in humans plasma after dietary consumption of beef. *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 4736–4739.
113. Everaert, I.; Taes, Y.; Heer, E. De; Baelde, H.; Zutinic, A.; Yard, B.; Sauerhöfer, S.; Vanhee, L.; Delanghe, J.; Aldini, G.; Derave, W. Low plasma carnosinase activity promotes carnosinemia after carnosine ingestion in humans. *Am. J. Physiol.-Renal Physiol.* **2012**, *302*, 1537–1544.
114. Baguet, A.; Reyngoudt, H.; Pottier, A.; Everaert, I.; Callens, S.; Achten, E.; Derave, W. Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *J. Appl. Physiol.* **2009**, *106*, 837–842..
115. Artioli, G. G.; Gualano, B.; Smith, A.; Stout, J.; y Lancha Jr, A. H. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2010**, *42*, 1162–1173.
116. Spelnikov, D.; Harris, R.C. A kinetic model of carnosine synthesis in human skeletal muscle. *Amin. Acids.* **2018**, *51*, 115–121.
117. Matthews, M. M.; y Traut, T. W. Regulation of N-carbamoyl-beta-alanine amidohydrolase, the terminal enzyme in pyrimidine catabolism, by ligand-induced change in polymerization. *J. Biol. Chem.* **1987**, *262*, 7232-7237.
118. Kalyanear, G.D.; Meister, A. Enzymatic Synthesis of Carnosine and Related $\hat{\text{I}}^2$ -Alanyl and $\hat{\text{I}}^3$ -Aminobutyryl Peptides. *J. Biol. Chem.* **1959**, *234*, 3210–3218.
119. Obson, R. M.; Saunders, B.; Ball, G.; Harris, R. C.; y Sale, C. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids.* **2012**, *43*, 25–37.
120. Derave, W.; Özdemir, M.S.; Harris, R.C.; Pottier, A.; Reyngoudt, H.; Koppo, K.; Wise, J.A.; y Achten, E. β -Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J. Appl. Physiol.* **2007**, *103*, 1736–1743.
121. Hill, C.A.; Harris, R.C.; Kim, H.J.; Harris, B.D.; Sale, C.; Boobis, L.H.; Kim, C.K.; Wise, J.A. Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amin. Acids.* **2006**, *32*, 225–233.
122. Kendrick, I.P.; Kim, H.J.; Harris, R.C.; Kim, C.K.; Dang, V.H.; Lam, T.Q.;

- Bui, T.T.; Wise, J.A. The effect of 4 weeks β -alanine supplementation and isokinetic training on carnosine concentrations in type I and II human skeletal muscle fibres. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2009 1061 **2009**, 106, 131–138.
123. Bex, T.; Chung, W.; Baguet, A.; Stegen, S.; Stautemas, J.; Achten, E.; Derave, W. Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2014**, 116, 204–209.
124. Drozak, J.; Veiga-da-Cunha, M.; Vertommen, D.; Stroobant, V.; Schaftingen, E. Van Molecular Identification of Carnosine Synthase as ATP-grasp Domain-containing Protein 1 (ATPGD1) *. *J. Biol. Chem.* **2010**, 285, 9346–9356.
125. Spriet, L. L.; Lindinger, M. I.; McKelvie, R. S.; Heigenhauser, G. J.; y Jones, N. L. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J. Appl. Physiol.* **1989**, 66, 8–13.
126. Artioli, G. G.; Gualano, B.; Smith, A.; Stout, J.; Lancha Jr, A. H. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* **2010**, 42(6), 1162-1173.
127. Saunders, B.; De Salles Painelli, V.; De Oliveira, L.F.; Da Eira Silva, V.; Da Silva, R.P.; Riani, L.; Franchi, M.; Gonçalves, L.D.S.; Harris, R.C.; Roschel, H.; et al. Twenty-four Weeks of β -Alanine Supplementation on Carnosine Content, Related Genes, and Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2017**, 49, 896–906.
128. Hill, C.A.; Harris, R.C.; Kim, H.J.; Harris, B.D.; Sale, C.; Boobis, L.H.; Kim, C.K.; Wise, J.A. Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amin. Acids.* **2006**, 32, 225–233.
129. Varanoske, A.N.; Hoffman, J.R.; Church, D.D.; Coker, N.A.; Baker, K.M.; Dodd, S.J.; Harris, R.C.; Oliveira, L.P.; Dawson, V.L.; Wang, R.; et al. Comparison of sustained-release and rapid-release β -alanine formulations on changes in skeletal muscle carnosine and histidine content and isometric performance following a muscle-damaging protocol. *Amin. Acids.* **2018**, 51, 49–60.
130. Baguet, A.; Bourgois, J.; Vanhee, L.; Achten, E.; Derave, W. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J. Appl. Physiol.* **2010**, 109,

- 1096–1101.
131. Baguet, A.; Reyngoudt, H.; Pottier, A.; Everaert, I.; Callens, S.; Achten, E.; Derave, W. Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *J. Appl. Physiol.* **2009**, *106*, 837–842.
 132. Derave, W.; Ozdemir, M. S.; Harris, R. C.; Pottier, A.; Reyngoudt, H.; Koppo, K.; Wise, J.; Achten, E. Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J. Appl. Physiol.* **2007**, *103*, 1736–1743.
 133. Gross, M.; Boesch, C.; Bolliger, C.S.; Norman, B.; Gustafsson, T.; Hoppeler, H.; Vogt, M. Effects of beta-alanine supplementation and interval training on physiological determinants of severe exercise performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2013**, *114*, 221–234.
 134. Stellingwerff, T.; Anwander, H.; Egger, A.; Buehler, T.; Kreis, R.; Decombaz, J.; Boesch, C. Effect of two β -alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amin. Acids.* **2012**, *42*, 2461–2472.
 135. del Favero, S.; Roschel, H.; Solis, M.Y.; Hayashi, A.P.; Artioli, G.G.; Otaduy, M.C.; Benatti, F.B.; Harris, R.C.; Wise, J.A.; Leite, C.C.; et al. Beta-alanine (Carnosyn™) supplementation in elderly subjects (60–80 years): effects on muscle carnosine content and physical capacity. *Amin. Acids.* **2011**, *43*, 49–56.
 136. Blancquaert, L.; Baba, S.P.; Kwiatkowski, S.; Stautemas, J.; Stegen, S.; Barbaresi, S.; Chung, W.; Boakye, A.A.; Hoetker, J.D.; Bhatnagar, A.; et al. Carnosine and anserine homeostasis in skeletal muscle and heart is controlled by β -alanine transamination. *J. Physiol.* **2016**, *594*, 4849–4863.
 137. Perim, P.H.; Heibel, A.B.; Artioli, G.G.; Gualano, B.; Saunders, B. Low efficiency of β -alanine supplementation to increase muscle carnosine. *Rev. Bras. Educ. Física e Esporte* **2020**, *34*, 357–364.
 138. Stegen, S.; Blancquaert, L.; Everaert, I.; Taes, I.; Calders, P.; Achten, E.; Derave, W. Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Med. Sci. Sports. Exerc.* **2013**, *45*, 1478–85.
 139. McGinley, C.; Bishop, D.J. Distinct protein and mRNA kinetics of skeletal muscle proton transporters following exercise can influence interpretation of adaptations to training. *Exp. Physiol.* **2016**, *101*, 1565–1580.
 140. Matthews, J.J.; Artioli, G.G.; Turner, M.D.; Sale, C. The Physiological Roles

- of Carnosine and β -Alanine in Exercising Human Skeletal Muscle. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2019**, *51*, 2098–2108.
141. Saunders, B.; Elliott-Sale, K.; Artioli, G.G.; Swinton, P.A.; Dolan, E.; Roschel, H.; Sale, C.; Gualano, B. β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* **2017**, *51*, 658–669.
142. Van Thienen, R.; Van Proeyen, K.; Puype, J.; Lefere, T.; Hespel, P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 898–903.
143. Everaert, I.; Mooyaart, A.; Baguet, A.; Zutinic, A.; Baelde, H.; Achten, E.; Derave, W. Vegetarianism, female gender and increasing age, but not CNDP1 genotype, are associated with reduced muscle carnosine levels in humans. *Amino Acids* **2011**, *40*, 1221–1229.
144. Harris, R.C.; Jones, G.; Hill, C.A.; Kendrick, I.P.; Boobis, L.; Kim, C.; Kim, H.; Dang, V.H.; Edge, J.; Wise, J.A. The Carnosine Content of V Lateralis in Vegetarians and Omnivores. *FASEB J.* **2007**, *21*, A944–A944.
145. Blancquaert, L.; Baguet, A.; Bex, T.; Volckaert, A.; Everaert, I.; Delanghe, J.; Petrovic, M.; Vervaet, C.; Henauw, S. De; Constantin-Teodosiu, D.; et al. Changing to a vegetarian diet reduces the body creatine pool in omnivorous women, but appears not to affect carnitine and carnosine homeostasis: a randomised trial. *Br. J. Nutr.* **2018**, *119*, 759–770.
146. Mannion, A.; Jakeman, P.; Willan, P. Skeletal muscle buffer value, fibre type distribution and high intensity exercise performance in man. *Exp. Physiol.* **1995**, *80*, 89–101.
147. Suzuki, Y.; Nakao, T.; Maemura, H.; Sato, M.; Kamahara, K.; Morimatsu, F.; y Takamatsu, K. Carnosine and anserine ingestion enhances contribution of nonbicarbonate buffering. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2006**, *38*, 334–338.
148. Parkhouse, W.S.; McKenzie, D.C.; Hochachka, P.W.; O'valle, W.K. Buffering capacity of deproteinized human vastus lateralis muscle. *J. Appl. Physiol.* **1985**, *58*, 14–17.
149. Derave, W.; Everaert, I.; Beeckman, S.; y Baguet, A. Muscle carnosine metabolism and beta-alanine supplementation in relation to exercise and training. *Sports Med.* **2010**, *40*, 247–263.
150. Baguet, A.; Everaert, I.; Achten, E.; Thomis, M.; y Derave, W. The influence

- of sex, age and heritability on human skeletal muscle carnosine content. *Amin. Acids* **2012**, *43*, 13–20.
151. Suzuki, Y.; Ito, O.; Takahashi, H.; Takamatsu, K. The effect of sprint training on skeletal muscle carnosine in humans. *Int. J. Sport Heal. Sci.* **2004**, *2*, 105–110.
 152. Mannion, A. F.; Jakeman, P. M.; Willan, P. L. T. Effects of isokinetic training of the knee extensors on high-intensity exercise performance and skeletal muscle buffering. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1994**, *68*, 356–361.
 153. De Salles Painelli, V.; Nemezio, K.M.; Pinto, A.J.; Franchi, M.; Andrade, I.; Riani, L.A.; Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Gualano, B.; y Artioli, G.G. High-intensity interval training augments muscle carnosine in the absence of dietary Beta-alanine intake. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2018**, *50*, 2242–2252.
 154. Trexler, E. T.; Smith-Ryan, A. E.; Stout, J. R., Hoffman, J. R.; Wilborn, C. D.; Sale, C., Kreider, R.; Jäger, R.; Earnest, C.; Bannock, L.; Cambell, B.; Kalman, D.; Ziegenfuss, T.; y Antonio, J. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* **2015**, *12*.
 155. Ko, R.; Low Dog, T.; Gorecki, D. K.; Cantilena, L. R.; Costello, R. B.; Evans, W. J.; Sarma, N. D. Evidence-based evaluation of potential benefits and safety of beta-alanine supplementation for military personnel. *Nutr. Rev.* **2014**, *72*, 217–225.
 156. Stellingwerff, T.; Decombaz, J.; Harris, R. C.; Boesch, C. Optimizing human in vivo dosing and delivery of β -alanine supplements for muscle carnosine synthesis. *Amin. Acids.* **2012**, *43*, 57–65, doi:10.1007/S00726-012-1245-7.
 157. Saunders, B.; Sunderland, C.; Harris, R.C.; Sale, C. β -alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2012**, *9*, 1–5.
 158. Carpentier, A.; Olbrechts, N.; Vieillevoye, S.; Poortmans, J.R. β -Alanine supplementation slightly enhances repeated plyometric performance after high-intensity training in humans. *Amin. Acids.* **2015**, *47*, 1479–1483.
 159. Bellinger, P.M. β -alanine supplementation for athletic performance: An update. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 1751–1770.
 160. Chung, W.; Shaw, G.; Anderson, M.E.; Pyne, D.B.; Saunders, P.U.; Bishop, D.J.; Burke, L.M. Effect of 10 Week Beta-Alanine Supplementation on Competition and Training Performance in Elite Swimmers. *Nutr.* **2012**, *4*,

- 1441–1453.
161. Smith-Ryan, A.E.; Fukuda, D.H.; Stout, J.R.; Kendall, K.L. High-velocity intermittent running: Effects of beta-alanine supplementation. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 2798–2805.
 162. Bellinger, P.M.; Minahan, C.L. Performance effects of acute β -alanine induced paresthesia in competitive cyclists. *Eur. J. Sport. Sci.* **2015**, *16*, 88–95.
 163. Shinohara, T., Harada, M.; Ogi, K., Maruyama, M.; Fujii, R.; Tanaka, H.; Fukusumi, S.; Komatsu, H.; Hosoya, M.; Noguchi, Y.; Watanabe, T.; Moriya, T.; Itoh, Y.; y Hinuma, S. Identification of a G protein-coupled receptor specifically responsive to beta-alanine. *J. Biol. Chem.* **2004**, *279*, 23559–23564.
 164. Wang, X.; Zhong, P.; Gu, Z.; Yan, Z. Regulation of NMDA Receptors by Dopamine D4 Signaling in Prefrontal Cortex. *J. Neurosci.* **2003**, *23*, 9852–9861.
 165. Crozier, R.A.; Ajit, S.K.; Kaftan, E.J.; Pausch, M.H. MrgD Activation Inhibits KCNQ/M-Currents and Contributes to Enhanced Neuronal Excitability. *J. Neurosci.* **2007**, *27*, 4492–4496.
 166. Church, D.D.; Hoffman, J.R.; Varanoske, A.N.; Wang, R.; Baker, K.M.; Monica, M.B. La; Beyer, K.S.; Dodd, S.J.; Oliveira, L.P.; Harris, R.C.; Fukuda, D.; Stout, J. Comparison of Two β -Alanine Dosing Protocols on Muscle Carnosine Elevations. *J. Am. Coll. Nutr.* **2017**, *36*, 608–616.
 167. Murakami, T.; Furuse, M. The impact of taurine- and beta-alanine-supplemented diets on behavioral and neurochemical parameters in mice: antidepressant versus anxiolytic-like effects. *Amin. Acids.* **2010**, *39*, 427–434.
 168. Dawson Jr, R.; Biasetti, M.; Messina, S.; Dominy, J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. *Amino Acids* **2002**, *22*, 309–324.
 169. Redondo, R. B.; Fernández, C. J. C.; de Teresa Galván, C.; del Valle Soto, M.; Bonafonte, L. F.; Gabarra, A. G.; Gaztañaga, T.; Manonelles, P.; Manuz, B.; Palacios, N.; Villegas, J.A. Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte - 2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte.* **2019**, *36*, 1-114.

170. Quesnele, J. J.; Laframboise, M. A.; Wong, J. J.; Kim, P.; Wells, G. D. The effects of beta-alanine supplementation on performance: a systematic review of the literature. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 14–27.
171. Harris, R.C.; Jones, G.A.; Kim, H.J.; Kim, C.K.; Price, K.A.; Wise, J.A. Changes in muscle carnosine of subjects with 4 weeks supplementation with a controlled release formulation of beta-alanine (Carnosyn™), and for 6 weeks post. *FASEB J.* **2009**, *23*, 599.4-599.4.
172. Stegen, S.; Bex, T.; Vervaet, C.; Vanhee, L.; Achten, E., Derave, W. β -Alanine dose for maintaining moderately elevated muscle carnosine levels. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2014**, *46*, 1426–1432.
173. Décombaz, J.; Beaumont, M.; Vuichoud, J.; Bouisset, F.; Stellingwerff, T. Effect of slow-release β -alanine tablets on absorption kinetics and paresthesia. *Amin. Acids.* **2011**, *43*, 67–76.
174. Spelnikov, D.; Harris, R.C. A kinetic model of carnosine synthesis in human skeletal muscle. *Amin. Acids.* **2018**, *51*, 115–121.
175. Salazar, L. de; Segarra, I.; López-Román, F.J.; Torregrosa-García, A.; Pérez-Piñero, S.; Ávila-Gandía, V. Increased bioavailability of β -Alanine by a novel controlled-release powder blend compared to a slow-release tablet. *Pharm.* **2021**, *13*, 1517.
176. Salatto, R.W.; McGinnis, G.R.; Davis, D.W.; Carrier, B.; Manning, J.W.; DeBeliso, M.; Navalta, J.W. Effects of Acute Beta-Alanine Ingestion and Immersion-Plus-Exercise on Connectedness to Nature and Perceived Pain. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* **2021**, *18*, 8134.
177. Naderi, A.; Oliveira, E.P. de; Ziegenfuss, T.N.; Willems, M.E.T. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. *J. Exerc. Nutr. Biochem.* **2016**, *20*, 1.
178. Kerksick, C.; Harvey, T.; Stout, J.; Campbell, B.; Wilborn, C.; Kreider, R.; Kalman, D.; Ziegenfuss, T.; Lopez, H.; Landis, J.; Antonio, J. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2008**, *51* **2008**, *5*, 1–12.
179. Bakardjiev, A.; Bauer, K. Transport of β -alanine and biosynthesis of carnosine by skeletal muscle cells in primary culture. *Eur. J. Biochem.* **1994**, *225*, 617–623.
180. Green, A.L.; Hultman, E.; Macdonald, I.A.; Sewell, D.A.; Greenhaff, P.L.

- Carbohydrate ingestion augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.* **1996**, 271.
181. Green, A.L.; Simpson, E.J.; Littlewood, J.J.; Macdonald, I.A.; Greenhaff, P.L. Carbohydrate ingestion augments creatine retention during creatine feeding in humans. *Acta Physiol. Scand.* **1996**, 158, 195–202.
 182. Gonçalves, L. de S.; Kratz, C.; Santos, L.; Carvalho, V.H.; Sales, L.P.; Nemezio, K.; Longobardi, I.; Riani, L.A.; Lima, M.M. de O.; Saito, T.; Lins Fernández, A.; Rodrigues, J.; Margaret James, R.; Sale, C.; Gualano, B.; Geleoneze, B.; Gennari de Medeiros, M.H.; y Gianni, G. Insulin does not stimulate β -alanine transport into human skeletal muscle. *2020*, 318, C777–C786.
 183. Staron, R.S.; Hagerman, F.C.; Hikida, R.S.; Murray, T.F.; Hostler, D.P.; Crill, M.T.; Ragg, K.E.; Toma, K. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J. Histochem. Cytochem.* **2016**, 48, 623–629.
 184. Clausen, T. Na⁺-K⁺ Pump Regulation and Skeletal Muscle Contractility. *Physiol. Rev.* **2003**, 83, 1269–1324.
 185. Clausen, T. Regulation of active Na⁺-K⁺ transport in skeletal muscle. *Physiol. Rev.* **1986**, 66, 542–580, doi:10.1152/PHYSREV.1986.66.3.542.
 186. James, D.E.; Jenkins, A.B.; Kraegen, E.W. Heterogeneity of insulin action in individual muscles in vivo: euglycemic clamp studies in rats. *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.* **1985**, 248, E567-E574.
 187. Swietach, P.; Leem, C.-H.; Spitzer, K.W.; Vaughan-Jones, R.D. Pumping Ca²⁺ up H⁺ gradients: a Ca²⁺-H⁺ exchanger without a membrane. *J. Physiol.* **2014**, 592, 3179–3188.
 188. Tallon, M. J.; Harris, R. C.; Boobis, L. H.; Fallowfield, J. L.; y Wise, J. A. The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. *J. Strength Cond. Res.* 2005, 19, 725.
 189. Kendrick, I.P.; Roger, A.E.; Ae, H.; Jeong, H.; Ae, K.; Keun, C.; Dang, V.H.; Lam, T.Q.; Toai, A.E.; y Bui, T.; Smith, M.; y Wise, J. The effects of 10 weeks of resistance training combined with b-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amin. Acids.* 2008, 34, 547-554.

190. Cochran, A.J.R.; Percival, M.E.; Thompson, S.; Gillen, J.B.; MacInnis, M.J.; Potter, M.A.; Tarnopolsky, M.A.; Gibala, M.J. β -Alanine Supplementation Does Not Augment the Skeletal Muscle Adaptive Response to 6 Weeks of Sprint Interval Training. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2015**, *25*, 541–549.
191. Bortolatto, G.P.; Medeiros, H.C.D. de; Guelfi, M.; Tavares, M.A.; Mazzo, M.; Mingatto, F.E. Carnosina evita el daño oxidativo causado por el ejercicio intenso en el músculo sóleo de ratones. *Rev. Bras. Med. do Esporte* **2020**, *26*, 11–15.
192. Calbet, J.A.L.; Martín-Rodríguez, S.; Martín-Rincon, M.; Morales-Alamo, D. An integrative approach to the regulation of mitochondrial respiration during exercise: Focus on high-intensity exercise. *Redox Biol.* **2020**, *35*, 101478.
193. Sundberg, C.W.; Fitts, R.H. Bioenergetic basis of skeletal muscle fatigue. *Curr. Opin. Physiol.* **2019**, *10*, 118–127.
194. Robergs, R.A.; Ghiasvand, F.; y Parker, D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am. J. Physiol.-Regul. Integr. Comp. Physiol.* **2004**, *287*, R502-R516.
195. Mitchell, R.A. Stoichiometry of glucose oxidation when linked to ATP synthesis. *Biochem. Educ.* **1996**, *24*, 207–208.
196. Wilson, J.R.; McCully, K.K.; Mancini, D.M.; Boden, B.; Chance, B. Relationship of muscular fatigue to pH and diprotonated Pi in humans: a ³¹P-NMR study. *J. Appl. Physiol.* **1988**, *64*, 2333–2339.
197. Peeling, P.; Binnie, M.J.; Goods, P.S.R.; Sim, M.; Burke, L.M. Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2018**, *28*, 178–187.
198. Osnes, J. B.; y Hermansen, L. Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *J. Appl. Physiol.* **1972**, *32*, 59–63.
199. Harris, R. C.; Edwards, R. H. T.; Hultman, E.; Nordesjö, L. O.; Ny Lind, B.; y Sahlin, K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch.* **1976**, *367*, 137–142.
200. Trivedi, B.; Danforth, W.H. Effect of pH on the Kinetics of Frog Muscle Phosphofructokinase. *J. Biol. Chem.* **1966**, *241*, 4110–4114.
201. SK, D.; L, H.; L, B. Differential, direct effects of H⁺ on Ca²⁺ -activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of

- rabbits. *Pflugers Arch.* **1978**, 376, 55–65.
202. Fabiato, A.; y Fabiato, F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J. Physiol.* **1978**, 276, 233–255.
203. Jagim, A.R.; Wright, G.A.; Brice, A.G.; Doberstein, S.T. Effects of beta-alanine supplementation on sprint endurance. *J. Strength Cond. Res.* **2013**, 27, 526–532.
204. Sundberg, C.W.; Hunter, S.K.; Trappe, S.W.; Smith, C.S.; Fitts, R.H. Effects of elevated H⁺ and Pi on the contractile mechanics of skeletal muscle fibres from young and old men: implications for muscle fatigue in humans. *J. Physiol.* **2018**, 596, 3993–4015.
205. Robertson, I.M.; Holmes, P.C.; Li, M.X.; Pineda-Sanabria, S.E.; Baryshnikova, O.K.; Sykes, B.D. Elucidation of Isoform-dependent pH Sensitivity of Troponin I by NMR Spectroscopy *. *J. Biol. Chem.* **2012**, 287, 4996–5007.
206. Longyear, T.J.; Turner, M.A.; Davis, J.P.; Lopez, J.; Biesiadecki, B.; Debold, E.P. Ca⁺⁺-sensitizing mutations in troponin, Pi, and 2-deoxyATP alter the depressive effect of acidosis on regulated thin-filament velocity. *J. Appl. Physiol.* **2014**, 116, 1165–1174.
207. Kohmoto, O.; Spitzer, K.W.; Movsesian, M.A.; Barry, W.H. Effects of intracellular acidosis on [Ca²⁺]_i transients, transsarcolemmal Ca²⁺ fluxes, and contraction in ventricular myocytes. *Circ. Res.* **1990**, 66, 622–632.
208. England, J.; Loughna, S. Heavy and light roles: myosin in the morphogenesis of the heart. *Cell. Mol. Life Sci.* **2012**, 70, 1221–1239.
209. Kresta, J.Y.; Oliver, J.M.; Jagim, A.R.; Fluckey, J.; Riechman, S.; Kelly, K.; Meiningner, C.; Mertens-Talcott, S.U.; Rasmussen, C.; Kreider, R.B. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine supplementation on muscle carnosine, body composition and exercise performance in recreationally active females. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2014**, 11, 1–15.
210. Bex, T.; Chung, W.; Baguet, A.; Achten, E.; Derave, W. Exercise Training and Beta-Alanine-Induced Muscle Carnosine Loading. *Front. Nutr.* **2015**, 2, 13.
211. Jordan, T.; Lukaszuk, J.; Mistic, M.; Umoren, J. Effect of beta-alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA)

- during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2010**, 7, 1–7.
212. Kindermann, W.; Simon, G.; Keul, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1979**, 42, 25–34.
213. Faude, O.; Kindermann, W.; Meyer, T. Lactate Threshold Concepts. *Sport. Med.* **2009**, 39, 469–490.
214. Wilson, J.M.; Wilson, G.J.; Zourdos, M.C.; Smith, A.E.; Stout, J.R. Beta-alanine supplementation improves aerobic and anaerobic indices of performance. *Strength Cond. J.* **2010**, 32, 71–78.
215. Stout, J. R.; Cramer, J. T.; Zoeller, R. F.; Torok, D.; Costa, P.; Hoffman, J. R.; O’kroy, J. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids* **2007**, 32, 381–386.
216. Beasley, L.; Smith, L.; Antonio, J.; Gordon, D.; Johnstone, J.; Roberts, J. The effect of two β -alanine dosing strategies on 30-minute rowing performance: a randomized, controlled trial. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2018**, 15, 1–11.
217. Bellinger, P.M.; Minahan, C.L. The effect of β -alanine supplementation on cycling time trials of different length. *Eur. J. Sport. Sci.* **2015**, 16, 829–836.
218. Fitts, R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol. Rev.* **1994**, 74, 49–94.
219. Metzger, J. M.; Moss, R. L. Greater hydrogen ion-induced depression of tension and velocity in skinned single fibres of rat fast than slow muscles. *J. Physiol.* **1987**, 393, 727–742.
220. Bishop, D.; Edge, J.; Goodman, C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2004**, 92, 540–547.
221. Bishop, D.; Lawrence, S.; Spencer, M. Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *J. Sci. Med. Sport* **2003**, 6, 199–209.
222. Parolin, M.L.; Chesley, A.; Matsos, M.P.; Spriet, L.L.; Jones, N.L.; Heigenhauser, G.J.F. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.* **1999**, 277, E890–E900.
223. Price, M.; y Moss, P. The effects of work:rest duration on physiological and

- perceptual responses during intermittent exercise and performance. *J. Sports Sci.* **2007**, *25*, 1613–1621.
224. Ferguson, B.S.; Rogatzki, M.J.; Goodwin, M.L.; Kane, D.A.; Rightmire, Z.; Gladden, L.B. Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2018**, *118*, 691–728.
225. Swietach, P.; Youm, J.-B.; Saegusa, N.; Leem, C.-H.; Spitzer, K.W.; Vaughan-Jones, R.D. Coupled Ca²⁺/H⁺ transport by cytoplasmic buffers regulates local Ca²⁺ and H⁺ ion signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2013**, *110*, E2064–E2073.
226. Blancquaert, L.; Everaert, I.; y Derave, W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* **2015**, *18*, 63–70.
227. Hobson, R.M.; Harris, R.C.; Martin, D.; Smith, P.; Macklin, B.; Gualano, B.; Sale, C. Effect of Beta-Alanine With and Without Sodium Bicarbonate on 2,000-m Rowing Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2013**, *23*, 480–487.
228. Glenn, J.M.; Gray, M.; Stewart, R.; Moyon, N.E.; Kavouras, S.A.; DiBrezza, R.; Turner, R.; Baum, J. Incremental effects of 28 days of beta-alanine supplementation on high-intensity cycling performance and blood lactate in masters female cyclists. *Amin. Acids* **2015**, *47*, 2593–2600.
229. Bellinger, P.M.; Minahan, C.L. Additive benefits of β -alanine supplementation and sprint-interval training. *Med. Sci. Sports. Exerc.* **2016**, *48*, 2417–2425.
230. Bellinger, P.M.; Minahan, C.L. Metabolic consequences of β -alanine supplementation during exhaustive supramaximal cycling and 4000-m time-trial performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2016**, *41*, 864–871.
231. Stout, J.R.; Cramer, J.T.; Zoeller, R.F.; Torok, D.; Costa, P.; Hoffman, J.R.; Harris, R.C.; O'kroy, J. Effects of b-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids* **2007**, *32*, 381–386.
232. Smith-Ryan, A. E.; Woessner, M. N.; Melvin, M. N.; Wingfield, H. L.; Hackney, A. C. The effects of beta-alanine supplementation on physical working capacity at heart rate threshold. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* **2014**,

- 34, 397–404.
233. Ghiasvand, R.; Askari, G.; Malekzadeh, J.; Hajishafiee, M.; Daneshvar, P.; Akbari, F.; Bahreynian, M. Effects of Six Weeks of β -alanine Administration on VO₂ max, Time to Exhaustion and Lactate Concentrations in Physical Education Students. *Int. J. Prev. Med.* **2012**, *3*, 559.
234. Smith, A. E., Stout, J. R., Kendall, K. L., Fukuda, D. H., & Cramer, J. T. Exercise-induced oxidative stress: the effects of β -alanine supplementation in women. *Amin. Acids* **2012**, *43*, 77–90.
235. Hoffman, J. R.; Ratamess, N. A.; Faigenbaum, A. D.; Ross, R.; Kang, J.; Stout, J. R.; Wise, J. A.. Short-duration beta-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutr. Res.* **2008**, *28*, 31–35.
236. Hoffman, J.; Ratamess, N. A.; Ross, R.; Kang, J.; Magrelli, J.; Neese, K.; Faigenbaum, A.D.; Wise, J. A. Beta-alanine and the hormonal response to exercise. *Int. J. Sports Med.* **2008**, *29*, 952–958.
237. Maté-Muñoz, J.L.; Lougedo, J.H.; Garnacho-Castaño, M. V.; Veiga-Herreros, P.; Lozano-Estevan, M. del C.; García-Fernández, P.; de Jesús, F.; Guodemar-Pérez, J.; San Juan, A.F.; Domínguez, R. Effects of β -alanine supplementation during a 5-week strength training program: a randomized, controlled study. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2018**, *15*, 1–12.
238. Ahlborg, B.; Bergström, J.; Ekelund, L. G.; Guarnieri, G.; Harris, R. C.; Hultman, E.; Nordesjö, L. O. Muscle metabolism during isometric exercise performed at constant force. *J. Appl. Physiol.* **1972**, *33*, 224–228.
239. Kelly, V. G.; Leveritt, M. D.; Brennan, C. T.; Slater, G. J.; Jenkins, D. G. Prevalence, knowledge and attitudes relating to β -alanine use among professional footballers. *J. Sci. Med. Sport.* **2017**, *20*, 12–16.
240. Stellingwerff, T.; Maughan, R. J.; Burke, L. M. Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J. Sports Sci.* **2011**, *29*, S79-S89
241. Ducker, K. J.; Dawson, B.; Wallman, K. E. Effect of beta-alanine supplementation on 2000-m rowing-ergometer performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2013**, *23*, 336–343.
242. De Salles Painelli, V.; Roschel, H.; De Jesus, F.; Sale, C.; Harris, R. C.; Solis, M. Y.; Braga Benatti, F.; Gualano, B.; Herbert Lancha, A.; Artioli, G. G. The

- ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2013**, *38*, 525-532.
243. De Andrade Kratz, C.; de Salles Painelli, V.; de Andrade Nemezio, K. M.; da Silva, R. P.; Franchini, E.; Zagatto, A. M.; Gualano, B.; Artioli, G. G. Beta-alanine supplementation enhances judo-related performance in highly-trained athletes. *J. Sci. Med. Sport.* **2017**, *20*, 403-408.
244. Donovan, T.; Ballam, T.; Morton, J. P.; Close, G. L. β -alanine improves punch force and frequency in amateur boxers during a simulated contest. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2012**, *22*, 331-337.
245. Melchiorri, G.; Castagna, C.; Sorge, R.; y Bonifazi, M. Game activity and blood lactate in men's elite water-polo players. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 2647-2651.
246. Brisola, G.M.P.; Malta, E. de S.; Santiago, P.R.P.; Vieira, L.H.P.; Zagatto, A.M. β -Alanine Supplementation's Improvement of High-Intensity Game Activities in Water Polo. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 1208-1214.
247. Brisola, G. M. P.; Artioli, G. G.; Papoti, M.; Zagatto, A. M. Effects of Four Weeks of β -Alanine Supplementation on Repeated Sprint Ability in Water Polo Players. *PLoS One* 2016, *11*.
248. Bellinger, P. M.; y Minahan, C. L. Additive Benefits of β -Alanine Supplementation and Sprint-Interval Training. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2016**, *48*, 2417-2425.
249. Chung, W.; Baguet, A.; Bex, T.; Bishop, D.J.; Derave, W. Doubling of Muscle Carnosine Concentration Does Not Improve Laboratory 1-Hr Cycling Time-Trial Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 315-324.
250. de Salles Painelli, V.; Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Solis, M.Y.; Roschel, H.; Gualano, B.; Artioli, G.G.; Lancha Jr., A.H. Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to β -alanine supplementation. *Amin. Acids.* **2014**, *46*, 1207-1215.
251. Hoffman, J.R.; Landau, G.; Stout, J.R.; Dabora, M.; Moran, D.S.; Sharvit, N.; Hoffman, M.W.; Ben Moshe, Y.; McCormack, W.P.; Hirschhorn, G.; Ostfeld, I. β -alanine supplementation improves tactical performance but not cognitive function in combat soldiers. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2014**, *11*, 1-8.

252. Coyle, E. F.; Coggan, A. R.; Hopper, M. K.; Walters, T. J. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* **1988**, *64*, 2622–2630.
253. Faria, I.E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. An update. *Sports Med.* **1992**, *14*, 43–63.
254. Olds, T. S.; Norton, K. I.; Lowe, E. L.; Olive, S.; Reay, F.; y Ly, S. Modeling road-cycling performance. *J. Appl. Physiol.* **1995**, *78*, 1596–1611.
255. Sjøgaard, G. Muscle morphology and metabolic potential in elite road cyclists during a season. *Int. J. Sports Med.* **1984**, *5*, 250–254.
256. Sale, C.; Saunders, B.; Hudson, S.; Wise, J. A.; Harris, R. C.; Sunderland, C. D. Effect of β -alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2011**, *43*, 1972–1978.
257. Bellinger, A.; Research Online, G.; Bellinger, P.M.; Howe, S.T.; Shing, C.M.; Fell, J.W.; Fell, J. Effect of Combined b-Alanine and SodiumBicarbonate Supplementation on Cycling Performance Copyright Statement The Effect of Combined B-Alanine and NaHCO₃ Supplementation on Cycling Performance. *Med. Sci. Sports. Exerc.* **2012**, *44*, 1545-51.
258. Howe, S.T.; Bellinger, P.M.; Driller, M.W.; Shing, C.M.; Fell, J.W. The Effect of Beta-Alanine Supplementation on Isokinetic Force and Cycling Performance in Highly Trained Cyclists. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2013**, *23*, 562–570.
259. James, R.M.; Cooper, S.B.; Robertson, J.; Martin, D.; Harris, R.C.; Sale, C. Effect of β -alanine supplementation on 20 km cycling time trial performance. *Rev. Bras. Educ. Física e Esporte* **2014**, *28*, 395–403.
260. de Salles Painelli, V.; Saunders, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Solis, M.Y.; Roschel, H.; Gualano, B.; Artioli, G.G.; Lancha Jr., A.H. Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to β -alanine supplementation. *Amin. Acids* **2014**, *46*, 1207–1215.
261. Glenn, J.M.; Smith, K.; Moyen, N.E.; Binns, A.; Gray, M. Effects of Acute Beta-Alanine Supplementation on Anaerobic Performance in Trained Female Cyclists. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*. **2015**, *61*, 161–166.
262. da Silva, R.P.; de Oliveira, L.F.; Saunders, B.; de Andrade Kratz, C.; de Salles Painelli, V.; da Eira Silva, V.; Marins, J.C.B.; Franchini, E.; Gualano, B.; Artioli, G.G. Effects of β -alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-

- intensity intermittent exercise. *Amin. Acids*. **2018**, *51*, 83–96.
263. Perim, P.; Gobbi, N.; Duarte, B.; Oliveira, L.F. de; Costa, L.A.R.; Sale, C.; Gualano, B.; Dolan, E.; Saunders, B. Beta-alanine did not improve high-intensity performance throughout simulated road cycling. *Eur. J. Sport. Sci.* **2021**, recién aceptado.
264. Tobias, G.; Benatti, F.B.; de Salles Painelli, V.; Roschel, H.; Gualano, B.; Sale, C.; Harris, R.C.; Lancha, A.H.; Artioli, G.G. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amin. Acids*. **2013**, *45*, 309–317.
265. Bech, S.R.; Nielsen, T.S.; Hald, M.; Jakobsen, J.P.; Nordsborg, N.B. No Effect of β -alanine on Muscle Function and Kayak Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2018**, *50*, 562–569.
266. Glenn, J.M.; Gray, M.; Stewart, R.W.; Moyon, N.E.; Kavouras, S.A.; DiBrezzo, R.; Turner, R.; Baum, J.I.; Stone, M.S. Effects of 28-day Beta-Alanine supplementation on isokinetic exercise performance and body composition in female masters athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 200–207.
267. Lee, Y.-H.; Jeon, Y.-K.; Rho, D.-S.; Seo, T.-B. The Effects of b-alanine Ingestion on Isokinetic Knee Strength and 3km Record in Middle-Long Distance Woman Cyclists. *Korean J. Sport Sci.* **2016**, *27*, 608–617.
268. Al-horani, R.A.; Alzoubi, R. Effect of Seven Days of Beta-Alanine Supplementation on Cycle Ergometer Wingate Test Performance. *Int. J. Coach. Sci.* **2017**, *11*, 45–59.
269. Road Cycling Rankings - Union Cycliste Internationale (UCI) Available online: <https://www.uci.org/road/rankings> (acceso el 6 Jul, 2021).
270. Sasahara, I.; Fujimura, N.; Nozawa, Y.; Furuhata, Y.; Sato, H. The effect of histidine on mental fatigue and cognitive performance in subjects with high fatigue and sleep disruption scores. *Physiol. Behav.* **2015**, *147*, 238–244.
271. van der Linden, D.; Frese, M.; Meijman, T.F. Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychol. (Amst)*. **2003**, *113*, 45–65.
272. Barranco-Gil, D.; Gil-Cabrera, J.; Valenzuela, P.L.; Alejo, L.B.; Montalvo-Pérez, A.; Talavera, E.; Moral-González, S.; Lucia, A. Functional Threshold Power: Relationship With Respiratory Compensation Point and Effects of

- Various Warm-Up Protocols. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2020**, *15*, 1047–1051.
273. Skiba, P.F. *The Triathlete's Guide to Training with Power*; PhysFarm Publishing Systems, LLC, 2008.
274. Skiba, P.F. *Analysis of Power Output and Training Stress in Cyclists: the Development of the BikeScore™ Algorithm*; Tech. rep. PhysFarm Training Systems LLC, 2008.
275. Clarke, D.C.; Skiba, P.F. Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance. *Adv. Physiol. Educ.* **2013**, *37*, 134–152.
276. Skiba, P. F.; Chidnok, W.; Vanhatalo, A.; y Jones, A. M. Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2012**, *44*, 1526–1532.
277. Morgan, P.T.; Black, M.I.; Bailey, S.J.; Jones, A.M.; Vanhatalo, A. Road cycle TT performance: Relationship to the power-duration model and association with FTP. *J. Sports. Sci.* **2018**, *37*, 902–910.
278. Torregrosa-García, A.; Ávila-Gandía, V.; Luque-Rubia, A.J.; Abellán-Ruiz, M.S.; Querol-Calderón, M.; López-Román, F.J. Pomegranate extract improves maximal performance of trained cyclists after an exhausting endurance trial: A randomised controlled trial. *Nutr.* **2019**, *11*, 721.
279. Paton, C.D.; Hopkins, W.G. Variation in performance of elite cyclists from race to race. *Eur. J. Sport. Sci.* **2006**, *6*, 25–31.
280. Hopkins, W.G. Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sport. Med.* **2012**, *30*, 1–15.
281. Hopkins, W. G.; Hawley, J. A.; y Burke, L. M. Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1999**, *31*, 472–485.
282. Hopkins, W.G.; y Hewson, D.J. Variability of competitive performance of distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2001**, *33*, 1588–1592.
283. Saunders, B.; Franchi, M.; de Oliveira, L.F.; da Eira Silva, V.; da Silva, R.P.; de Salles Painelli, V.; Costa, L.A.R.; Sale, C.; Harris, R.C.; Roschel, H.; et al. 24-Week β -alanine ingestion does not affect muscle taurine or clinical blood parameters in healthy males. *Eur. J. Nutr.* **2018**, *59*, 57–65.
284. Jürimäe, J.; Mäestu, J.; Purge, P.; Jürimäe, T. Changes in stress and recovery

- after heavy training in rowers. *J. Sci. Med. Sport.* **2004**, *7*, 335–339.
285. Mujika, I. Intense training: the key to optimal performance before and during the taper. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2010**, *20*, 24–31.
286. Vervoorn, C.; Quist, A.M.; Vermulst, L.J.M.; Erich, W.B.M.; Vries, W.R. de; Thijssen, J.H.H. The Behaviour of the Plasma Free Testosterone/Cortisol Ratio during a Season of Elite Rowing Training. *Int. J. Sports Med.* **2008**, *12*, 257–263.
287. Steinacker, J.M.; Lormes, W.; Reissnecker, S.; Liu, Y. New aspects of the hormone and cytokine response to training. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2004**, *91*, 382–391.
288. Hammes, D.; Skorski, S.; Schwindling, S.; Ferrauti, A.; Pfeiffer, M.; Kellmann, M.; Meyer, T. Can the Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test Indicate Fatigue and Recovery in Trained Cyclists? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 328–336.
289. Ribeiro, R.; Duarte, B.; Guedes da Silva, A.; Ramos, G.P.; Rossi Picanço, A.; Penna, E.M.; Coswig, V.; Barbalho, M.; Gentil, P.; Gualano, B.; Saunders, B. Short-Duration Beta-Alanine Supplementation Did Not Prevent the Detrimental Effects of an Intense Preparatory Period on Exercise Capacity in Top-Level Female Footballers. *Front. Nutr.* **2020**, *7*, 43.
290. Mora-Rodriguez, R.; Aguado-Jimenez, R. Rendimiento a Cadencias de Pedaleo Elevadas en Ciclistas Altamente Entrenados - International Endurance Group. *PubliCE* **2014**.
291. San-Millán, I.; Stefanoni, D.; Martinez, J.L.; Hansen, K.C.; D'Alessandro, A.; Nemkov, T. Metabolomics of Endurance Capacity in World Tour Professional Cyclists. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 578.
292. Durkalec-Michalski, K.; Kusy, K.; Ciekot-Sołtysiak, M.; Zieliński, J. The Effect of Beta-Alanine versus Alkaline Agent Supplementation Combined with Branched-Chain Amino Acids and Creatine Malate in Highly-Trained Sprinters and Endurance Athletes: A Randomized Double-Blind Crossover Study. **2019**, *11*, 1961.
293. Durkalec-Michalski, K.; Kusy, K.; Główska, N.; Zieliński, J. The effect of multi-ingredient intra- versus extra-cellular buffering supplementation combined with branched-chain amino acids and creatine on exercise-induced ammonia blood concentration and aerobic capacity in taekwondo

- athletes. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* **2021**, *18*, 1–14.
294. Faria, E.W.; Parker, D.L.; Faria, I.E. The Science of Cycling. *Sport. Med.* **2005**, *35*, 285–312.
295. Hamm, L.L.; Nakhoul, N.; Hering-Smith, K.S. Acid-Base Homeostasis. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* **2015**, *10*, 2232–2242.
296. Milioni, F.; Poli, R.A.B. de; Saunders, B.; Gualano, B.; Rocha, A.L. da; Silva, A.S.R. da; Muller, P. de T.G.; Zagatto, A.M. Effect of β -alanine supplementation during high-intensity interval training on repeated sprint ability performance and neuromuscular fatigue. *J. Appl. Physiol.* **2019**, *127*, 1599–1610.
297. Kraut, J.A.; Nagami, G.T. The Serum Anion Gap in the Evaluation of Acid-Base Disorders: What Are Its Limitations and Can Its Effectiveness Be Improved? *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* **2013**, *8*, 2018–2024.
298. Thomas, C.; Bishop, D.J.; Lambert, K.; Mercier, J.; Brooks, G.A. Effects of acute and chronic exercise on sarcolemmal MCT1 and MCT4 contents in human skeletal muscles: current status. *J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* **2012**, *302*, 1–14, doi:10.1152/AJPREGU.00250.2011.
299. Glasmacher, S.A.; Stones, W. A systematic review and diagnostic test accuracy meta-analysis of the validity of anion gap as a screening tool for hyperlactatemia. *BMC Res. Notes.* **2017**, *10*, 1–5.
300. Wilson, M.C.; Meredith, D.; Bunnun, C.; Sessions, R.B.; Halestrap, A.P. Studies on the DIDS-binding Site of Monocarboxylate Transporter 1 Suggest a Homology Model of the Open Conformation and a Plausible Translocation Cycle *. *J. Biol. Chem.* **2009**, *284*, 20011–20021.
301. Karagiannis, A.; Sylantyev, S.; Hadjihambi, A.; Hosford, P.S.; Kasparov, S.; Gourine, A. V Hemichannel-mediated release of lactate. *J. Cereb. Blood Flow. Metab.* **2015**, *36*, 1202–1211.
302. Sáez, J.C.; Cisterna, B.A.; Vargas, A.; Cardozo, C.P. Regulation of pannexin and connexin channels and their functional role in skeletal muscles. *Cell. Mol. Life Sci.* **2015**, *72*, 2929–2935.
303. Lucía, A.; Lucía, L.; Jesús, J.; Hoyos, J.; Chicharro, J.L. Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Med. Sci. Sport. Exerc* **2001**, *33*, 1361–1366.
304. Coast, J.R.; Welch, H.G. Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup.*

- Physiol.* **1985**, *53*, 339–342.
305. Foss, Ø.; Hallén, J. The most economical cadence increases with increasing workload. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004 924 **2004**, *92*, 443–451.
306. Lucia, A.; Juan, A. F. S.; Montilla, M.; CaNete, S.; Santalla, A.; Earnest, C.; y Perez, M. In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2004, *36*, 1048-1054.
307. Lucía, A.; Lucía, L.; Jesús, J.; Hoyos, J.; Rez, M.P.; Santalla, A.; Chicharro, J.L.; y Lucia, A. Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med. Sci. Sport. Exerc.* **2002**, *34*, 2079–2084.
308. Horowitz, J.F.; Sidossis, L.S.; Coyle, E.F. High Efficiency of Type I Muscle Fibers Improves Performance. *Int. J. Sports Med.* **2008**, *15*, 152–157.
309. Coyle, E. F.; Sidossis, L. S.; Horowitz, J. F.; y Beltz, J. D. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1992**, *24*, 782–788.
310. Moseley, L.; Achten, J.; Martin, J.C.; Jeukendrup, A.E. No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists. *Int. J. Sports Med.* **2004**, *25*, 374–379.
311. Nickleberry Jr, B. L., y Brooks, G. A. No effect of cycling experience on leg cycle ergometer efficiency. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1996**, *28*, 1396–1401.
312. Sidossis, L.S.; Horowitz, J.F.; Coyle, E.F. Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *Int. J. Sports Med.* **2008**, *13*, 407–411.
313. Widrick, J. J.; Freedson, P. S.; y Hamill, J. Effect of internal work on the calculation of optimal pedaling rates. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1992**, *24*, 376–382.
314. Gaesser, G.A.; Brooks, G.A. Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* **1975**, *38*, 1132–1139.
315. Bergstrom, M.; Hultman, E. Energy cost and fatigue during intermittent electrical stimulation of human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* **1988**, *65*, 1500–1505.
316. Sjøgaard, G.; Hansen, E.A.; Osada, T. Blood flow and oxygen uptake increase with total power during five different knee-extension contraction rates. *J. Appl. Physiol.* **2002**, *93*, 1676–1684.

317. Hughes, E.F.; Turner, S.C.; Brooks, G.A. Effects of glycogen depletion and pedaling speed on “anaerobic threshold.” *J. Appl. Physiol.* **1982**, *52*, 1598–1607.
318. Chavarren, J.; Calbet, J.A.L. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1999**, *80*, 555–563.
319. Ahlquist, L.E.; Bassett, D.R.; Sufit, R.; Nagle, F.J.; Thomas, D.P. The effect of pedaling frequency on glycogen depletion rates in type I and type II quadriceps muscle fibers during submaximal cycling exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1992**, *65*, 360–364.
320. Ferguson, R.A.; Ball, D.; Krstrup, P.; Aagaard, P.; Kjær, M.; Sargeant, A.J.; Hellsten, Y.; Bangsbo, J. Muscle oxygen uptake and energy turnover during dynamic exercise at different contraction frequencies in humans. *J. Physiol.* **2001**, *536*, 261–271.
321. Pringle, J.S.M.; Doust, J.H.; Carter, H.; Tolfrey, K.; Jones, A.M. Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00456.2002> **2003**, *94*, 1501–1507.
322. Farina, D.; Macaluso, A.; Ferguson, R.A.; De Vito, G. Effect of power, pedal rate, and force on average muscle fiber conduction velocity during cycling. *J. Appl. Physiol.* **2004**, *97*, 2035–2041.
323. Takaishi, T.; Yasuda, Y.; Moritani, T. Neuromuscular fatigue during prolonged pedalling exercise at different pedalling rate Relationship between decreased swimming velocity and muscle activity during 200-m front crawl View project Exercise physiology View project. *Artic. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1994**, *69*, 154-158.
324. Ferguson, R.A.; Aagaard, P.; Ball, D.; Sargeant, A.J.; Bangsbo, J. Total power output generated during dynamic knee extensor exercise at different contraction frequencies. *J. Appl. Physiol.* **2000**, *89*, 1912–1918.
325. Santana, J.O.; de Freitas, M.C.; dos Santos, D.M.; Rossi, F.E.; Lira, F.S.; Rosa-Neto, J.C.; Caperuto, E.C. Beta-Alanine Supplementation Improved 10-km Running Time Trial in Physically Active Adults. *Front. Physiol.* **2018**, *0*, 1105.
326. Borg, G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand. J. Work. Environ. Heal.* **1990**, *16*, 55–58.

327. Ekblom, B.; Golobarg, A.N. The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion. *Acta Physiol. Scand.* **1971**, *83*, 399–406.
328. Bountra, C.; Vaughan-Jones, R.D. Effect of intracellular and extracellular pH on contraction in isolated, mammalian cardiac muscle. *J. Physiol.* **1989**, *418*, 163–187.
329. Huerta Ojeda, Á.; Contreras-Montilla, O.; Galdames, S.; Jorquera-Aguilera, C.; Fuentes-Kloss, R.; Guisado-Barrilao, R. Efectos de la suplementación aguda con beta-alanina sobre una prueba de tiempo límite a velocidad aeróbica máxima en atletas de resistencia. *Nutr. Hosp.* **2019**, *36*, 698-705.
330. Invernizzi, P.L.; Benedini, S.; Saronni, S.; Merati, G.; y Bosio, A. The acute administration of carnosine and Beta-Alanine does not improve running anaerobic performance and has no effect on the metabolic response to exercise. *Adv. Phys. Educ.* **2013**, *3*, 169–174.

X - ANEXOS

X – ANEXOS**ANEXO 1: Hoja de aleatorización.****[2] Asignación de sujetos a tratamientos:****Datos:**

Tipo de grupos a crear: Grupos equilibrados
Número de grupos: 2
Número total de sujetos: 13

Número de los sujetos seleccionados:

Grupo 1 B-alanina												
1		3		5		7		9		11		13

Grupo 2 Placebo												
	2		4		6		8		10			12

ANEXO 2: Características del producto en investigación. Producto final de BETAFOR3MAX®

Martínez Nieto, S.A.
Health Food and Natural Beauty since 1968

FICHA TÉCNICA

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO **BETA-ALANINA LIBERACIÓN PROLONGADA**

INGREDIENTES: Beta alanina recubierta 100%

PARAMETROS ORGANOLÉPTICOS

Parametros	Especificaciones	Resultados
Apariencia	Párculas casi esféricas	Conforme
Color	Blanquecino	Conforme

PARAMETROS FISICOQUÍMICOS

Parametros	Especificaciones	Resultados
Identificación (HPLC)	Positivo para beta alanina	Positivo
Riqueza		556.75 mg/g

PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS

Parámetros	Especificaciones	Resultados
RMAT (ufc/ml)	< 10000	< 10
<i>Salmonella spp.</i> (ufc/10 ml)	Ausencia	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i> (ufc/ml)	Ausencia	Ausencia
RLMT (ufc/ml)	< 100	< 10
<i>Escherichia coli</i> (ufc/ml)	Ausencia	Ausencia
Bacterias Gram negativas tolerantes a la bilis (ucf/ml)	< 100	< 10

MATERIA PRIMA: L-HISTIDINA**CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS**

Parámetros	Especificación
Apariencia	Polvo cristalino blanco

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Parámetros	Especificación
Ensayo	98.5%-101.5%
Identificación	Cumple
Transmitancia	≥95.0%
Humedad	≤0.5 %
Metales Pesados	Max 10 ppm
Arsénico (As)	≤1 ppm
Plomo (Pb)	≤3 ppm
Cadmio (Cd)	≤1 ppm
Mercurio (Hg)	≤0.1 ppm
Residuo de ignición	≤0.1%
Rotación específica	+12.0°to +12.8°
pH	7.0-8.5
Otros aminoácidos	≤0.2% (individual) ≤0.5% (total)

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Parámetros	Especificación
Aerobios Mesófilos Totales	<1000 ufc/g
Salmonela	Ausencia/25g
Mohos y Levaduras	<100 ufc/g
Coliformes	<10 ufc/g
E.Coli	Ausencia/g

MATERIA PRIMA: L-CARNOSINA**CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS**

Parámetros	Especificación
Apariencia	Polvo blanco

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

Parámetros	Especificación
Ensayo	99.0%-101.0%
Identificación	Cumple
Humedad	≤1.0 %
Metales Pesados	Max 10 ppm
Arsénico (As)	≤1 ppm
Plomo (Pb)	≤3 ppm
Cadmio (Cd)	≤1 ppm
Mercurio (Hg)	≤0.1 ppm
Residuo de ignición	≤0.1%
Rotación específica	+20°to +22°
Punto de fusión	250°C-265°C
pH	7.5-8.5
L-Histidina	≤1.0%
Beta-alanina	≤0.1%
Contenido en hidracina	No detectable

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Parámetros	Especificación
Aerobios Mesófilos Totales	<1000 ufc/g
Salmonela	Ausencia/25g
Mohos y Levaduras	<100 ufc/g
Coliformes	<10 ufc/g
E.Coli	Ausencia/g

ANEXO 3: Análisis del producto como sustancia dopante.

UKAS Testing Laboratory No: 1197

LGCNewmarket Road
Fordham
Cambridgeshire
CB7 5WW
UK

Tel: +44(0)1638 720 500

Fax: +44(0)1638 724 200

Email: info@lgcgroup.comwww.lgcgroup.com

27-Jan-2020

Certificate of Analysis No¹: 3454

Date of Issue: 27-Jan-2020

UCAM San Antonio Catholic University of MurciaExercise Physiology Department
Avenida de los Jeronimos 133
30107 Guadalupe
Murcia

Service Type:	LGC Supplement Screen
Delivery Date:	13-Jan-2020
Date Analysis Commenced:	14-Jan-2020
Purchase Order number:	
Laboratory Reference:	9247

The following sample was analysed using documented LGC screening methods for the compounds specified in the Testing Specification: Nutritional Supplements V1.

Brand:	UCAM
Product:	BETAFOR3MAX
Flavour:	Unflavoured
Pack Size:	Unknown
Batch Number:	PI080120NID
Expiry Date:	31-Oct-2020

Analytical Result²:

None were found

Additional Commentary³:

None

¹This certificate may not be reproduced or altered.²Test results apply to the portion of the product taken.³Any opinions and / or interpretations fall outside our scope of ISO17025 accreditation

Authorised by:	Kate Marrs
Job Title:	Team Leader

Note: this technical report does not represent Informed Sport or Informed Choice certification or act as authorisation to use either the Informed Sport or Informed Choice logos. Only products that are listed on the Informed Sport and Informed Choice websites are permitted to use the relevant programme logos.

ANEXO 4: Características del producto placebo. Sémola de trigo



Camino Harinera S/N, 50830
Villanueva de Gallego, Zaragoza, España
Teléf.: 0034 976 185 126
haripolo@harinaspolo.com
www.harinaspolo.com

ESPECIFICACION DE PRODUCTO

Producto **SEMOLA DE TRIGO GRUESA**
Origen **España** (Trigos procedentes de España/Francia/Canadá)
Código HP 24030125

Descripción de producto

Producto de estructura granulosa constituido por el endospermo procedente de la molienda de trigo duro (*Triticum durum*), industrialmente limpio



Uso esperado Consumo humano.
Producto intermedio (no destinado a consumidor final) que requiere transformación anterior previa a su uso. Elaboración de productos de panificación y otros productos horneados.

Aplicación Para inclusión en masa o uso como topping. Sin % mínimo/máximo recomendado.

Color Amarillento

Aroma y Sabor Típico, sin sabor/olor extraño

Se trata de un producto agrícola y por lo tanto podrían percibirse variaciones naturales en cuanto a color, aroma y sabor en base a la procedencia geográfica y las condiciones climáticas locales

OGM Este producto no está sometido a las normas de etiquetado según los reglamentos 1829 y 1830 /2003 sobre productos OGM

Irradiación/ionización Este producto no ha sido tratado con radiación ionizante y no contiene ingredientes irradiados, no se requiere etiquetado específico establecido en la Directiva comunitaria 1999/2.

Aditivos No

Consumo preferente **5 meses**, saco cerrado, desde la fecha de producción bajo condiciones de almacenamiento recomendadas

Condiciones de almacenamiento Fresco y seco, protegido de la luz directa del sol

Granulometría

Parámetro	Valor
>630 micras	100 %
<630 micras	< 5.0 %

Parámetros Microbiológicos

Parámetro	Valor
Aerófilos Mesófilos Tot	< 1 x 10 ⁶ ufc/g
Salmonella	Ausencia en 25g
E.coli	< 10 ² ufc/g
Mohos y Levaduras	< 1 x 10 ⁴ ufc/g

Parámetros Físico- Químicos

Parámetro	Valor
Humedad	< 15 %
Cenizas	< 0.90 %
Acidez grasa (mg KOH/0,0178N/100g)	< 30.0 mg
Proteína	>10.00 %

Parámetro	Valor
Color índice "b"	> 23.0
Puntos negros n ^o /dm ²	< 5.0
Puntos marrones n ^o /dm ²	< 20
Gluten Index	>50

Contaminantes (Acorde al Reglamento (CE) no 1881/2006 y mod. posteriores)

Aflatoxinas B1	< 2 ppb
Aflatoxinas Totales	< 4 ppb
Ocratoxina A	< 3 ppb
Deoxinivalenol	< 750 ppb

Zearalenona	< 75 ppb
Cadmio	< 0.20 ppm
Plomo	< 0.20 ppm

Pesticidas Acorde a Reglamento (CE) 396/2005 y mod. posteriores

**Valores Nutricionales por 100 g**

Calorías	379 Kcal/1596 KJ	Grasas	0.67 g
Proteína	11.50 g	Saturadas	0.16 g
Carbohidratos	69.43 g	Monoinsaturadas	0.20 g
De los cuales azúcar	trazas	Poliinsaturadas	0.31 g
Fibra	4.0 g	Trans	-
Cenizas	0.80 g	Acidos grasos Omega-6	-
Agua	13.6 g	Sal	7.5 mg
Vitamina E	0.1 mg	Sodio	3.0 mg

Envasado

Todos los envases cumplen con la Legislación vigente relativa a los materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con productos alimenticios (envase apto para uso alimentario) y cumplimiento de la legislación vigente relativa a migración de envases, según *Reg (UE) 10/2011*.

Unidad	Material	Cierre	Paletizado
Sacos de 25 kg	Papel multicapa	Cosido	Pallet europeo (120x80 cm) 33 sacos x 25Kg = 825Kg neto

Pallet de plástico deberá ser solicitado por el cliente.

Identificación

Número de lote: x/xxxx, Asignación secuencial por orden de producción
Lote y Consumo preferente marcado en cada envase individual

COD: 24030125	
 Harinas Polo <small>Harinas Polo, S.A., Camino Harinera sn, 50830 Villanueva de Gallego, Zaragoza Tfno.: 976185126 Fax: 976185336 RGS, 20/8095/2 CIF: A50022698</small>	
SEMOLA DE TRIGO GRUESA	
NºLOTE: 6/XXXX	CONS.PREF.: XX/XX/XXXX
Alérgeno: Contiene gluten	
PESO NETO: 25 KG	
CONSERVESE EN SITIO FRESCO Y AISLADO DEL SUELO	

Datos de seguridad

El contenido de esta Ficha de Datos de Seguridad concuerda con lo establecido al respecto mediante Real Decreto 255/2003. Las medidas de protección recomendadas en la misma deberán adaptarse a las condiciones específicas del lugar de trabajo. Esta Ficha de Seguridad ha sido preparada y debe ser usada exclusivamente para este producto. Si el producto es usado como componente de otro producto es posible que esta información de Seguridad no sea aplicable. *Ficha de seguridad completa disponible para su consulta-

Sustancias peligrosas contenidas	Ninguna
Riesgo por inhalación	Sensibilizante
Contacto con los ojos	El polvo de harina/sémola puede generar afecciones oculares por contacto directo
Riesgos por Ingestión	La harina no está destinada a consumo directo
Peligros para el medio ambiente	En condiciones normales de utilización, no representa peligro para el medio ambiente
Información toxicológica	Ninguna
Riesgo de explosión	Riesgo débil. Debido a su granulometría y a su poder calorífico, en condiciones muy especiales, es capaz de generar atmósferas explosivas, que en contacto con fuentes de ignición pudieran desencadenar explosiones e incendios en el lugar de trabajo.
Consideraciones relativas a la eliminación	No catalogado como peligroso Restos en envases: No supone un riesgo específico

**Alérgenos** (de declaración obligatoria en el etiquetado, Reg (UE) N 1169/2011 y mod. posteriores)

Si	El componente está contenido como ingrediente en el producto
Trazas L	Posible presencia de trazas (de la misma línea)
PP	Presente en la Planta (zonas separadas)
Trazas MP	Posible presencia de trazas (presentes en la materia prima por contaminación en cosecha o transporte desde campo)
CC	Se considera que existe riesgo de CC?

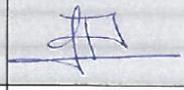
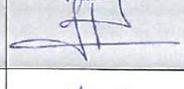
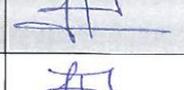
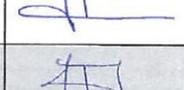
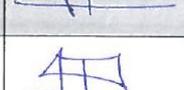
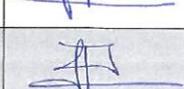
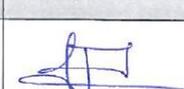
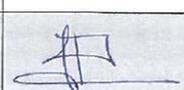
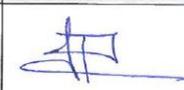
Componente	SI	Trazas MP	Trazas L	PP	CC
Cereales que contengan gluten: trigo, centeno, cebada, avena o sus variedades híbridas y productos derivados, salvo: a) jarabes de glucosa a base de trigo, incluida la dextrosa b) maltodextrinas a base de trigo c) jarabes de glucosa a base de cebada d) cereales utilizados para hacer destilados alcohólicos, incluido el alcohol etílico de origen agrícola.	Si				
Crustáceos y productos a base de crustáceos	No	No	No	No	
Huevos y productos a base de huevo	No	No	No	No	
Pescado y productos a base de pescado, salvo: a) gelatina de pescado utilizada como soporte de vitaminas o preparados de carotenoides; b) gelatina de pescado o ictiocola utilizada como clarificante en la cerveza y el vino.	No	No	No	No	
Cacahuets y productos a base de cacahuets	No	No	No	No	
Soja y productos a base de soja, salvo: a) aceite y grasa de semilla de soja totalmente refinados (42); b) tocoferoles naturales mezclados (E306), d-alfa tocoferol natural, acetato de d-alfa tocoferol natural y succinato de d-alfa tocoferol natural derivados de la soja; c) fitosteroles y ésteres de fitosterol derivados de aceites vegetales de soja; d) ésteres de fitostanol derivados de fitosteroles de aceite de semilla de soja.	No	No	No	Si	No
Leche y sus derivados (incluida la lactosa), salvo: a) lactosuero utilizado para hacer destilados alcohólicos, incluido el alcohol etílico de origen agrícola; b) lactitol.	No	No	No	No	
Frutos de cáscara, es decir: almendras (<i>Amygdalus communis L.</i>), avellanas (<i>Corylus avellana</i>), nueces (<i>Juglans regia</i>), anacardos (<i>Anacardium occidentale</i>), pacanas [<i>Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch</i>], nueces de Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>), pistachos (<i>Pistacia vera</i>), nueces macadamia o nueces de Australia (<i>Macadamia ternifolia</i>) y productos derivados, salvo los frutos de cáscara utilizados para hacer destilados alcohólicos, incluido el alcohol etílico de origen agrícola.	No	No	No	No	
Apio y productos derivados.	No	No	No	No	
Mostaza y productos derivados.	No	No	No	No	
Granos de sésamo y productos a base de granos de sésamo.	No	No	No	Si	No
Dióxido de azufre y sulfitos en concentraciones superiores a 10 mg/kg o 10 mg/litro en términos de SO ₂ total, para los productos listos para el consumo o reconstituidos conforme a las instrucciones del fabricante.	No	No	No	No	
Altramucos y productos a base de altramucos.	No	No	No	No	
Moluscos y productos a base de moluscos.	No	No	No	No	

Nota: Todos los límites establecidos y parámetros a controlar son los de cumplimiento obligatorio según la legislación vigente española y europea aplicable para este producto, o ante ausencia de legislación aplicable, según límite interno. Otros parámetros extra deberán ser solicitados por el cliente.
Los métodos de análisis son los estipulados por los laboratorios externos con los que se trabaja.

ANEXO 5: Control de la entrega, recogida y peso del producto

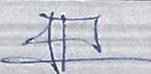
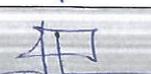
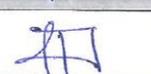
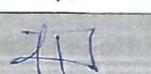
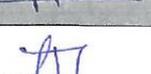
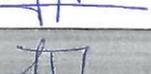
A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM
 β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL
 ENDURANCE CYCLISTS

CONTROL PRODUCTO – SUJETO

<u>SUJETO</u>	<u>ENTREGA PRODUCTO</u>	
β-ACE 01	P1080120 NID 561,78 g	
β-ACE 02	P1080120 NIE 439,06 g	
β-ACE 03	P1080120 NID 561,13 g	
β-ACE 04	P1080120 NIE 441,00 g	
β-ACE 05	P1080120 NID 561,64 g	
β-ACE 06	P1080120 NIE 436,79 g	
β-ACE 07	P1080120 NID 561,02 g	
β-ACE 08	P1080120 NIE 436,10 g	
β-ACE 09	P1080120 NID 561,39 g	
β-ACE 10	P1080120 NIE 443,12 g	
β-ACE 11	P1080120 NID 561,53 g	
β-ACE 12	P1080120 NIE 431,93 g	
β-ACE 13	P1080120 NID 561,90 g	

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM
 β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL
 ENDURANCE CYCLISTS

CONTROL PRODUCTO – SUJETO

<u>SUJETO</u>	<u>RECOGIDA PRODUCTO</u>	
β-ACE 01	P1080120 NID 222,03g	
β-ACE 02	P1080120 NIE 149,20g	
β-ACE 03	NO FINALIZÓ EL ESTUDIO	FE 
β-ACE 04	P1080120 NIE 280,28g	
β-ACE 05	P1080120 NID 163,66g	
β-ACE 06	P1080120 NIE 164,30g	
β-ACE 07	P1080120 NID 250,87g	
β-ACE 08	P1080120 NIE 235,45g	
β-ACE 09	P1080120 NID 218,48g	
β-ACE 10	P1080120 NIE 195,43g	
β-ACE 11	P1080120 NID 161,93g	
β-ACE 12	P1080120 NIE 214,54g	
β-ACE 13	P1080120 NID 143,71g	

ANEXO 6: Test de parestesia

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL ENDURANCE CYCLISTS

FECHA: 23 / 01 / 2020**CODE:** ____ ____**INTENSIDAD DE LA SENSACIÓN: ESCALA VISUAL ANALÓGICA (EVA)**

Marque con una línea vertical el lugar en la escala que mejor refleje la intensidad con la que percibes sensaciones inusuales en este momento. Teniendo en cuenta que *Sensación no inusual* es 0 y la *Sensación más intensa imaginable* es 10.

**DESCRIPCIÓN DE SENSACIONES INUSUALES**

De las siguientes sensaciones inusuales señale las que sienta actualmente (puedes seleccionar más de una opción).

Agujas Irritación Otras: _____
 Cosquilleo Insensibilidad _____
 Escalofríos Dolor _____

Si siente alguna otra sensación / efecto secundario que no se describa anteriormente, detállela a continuación.

BASAL**TEST DE PARESTESIA**

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL ENDURANCE CYCLISTS

FECHA: 24 / 01 / 2020

CODE: ____ ____

INTENSIDAD DE LA SENSACIÓN: ESCALA VISUAL ANALÓGICA (EVA)

Marque con una línea vertical el lugar en la escala que mejor refleje la intensidad con la que percibes sensaciones inusuales en este momento. Teniendo en cuenta que *Sensación no inusual* es 0 y la *Sensación más intensa imaginable* es 10.

No inusual sensación |-----| Sensación más intensa imaginable

DESCRIPCIÓN DE SENSACIONES INUSUALES

De las siguientes sensaciones inusuales señale las que hayas sentido tras el consumo de las primeras tomas realizadas el día anterior (puedes seleccionar más de una opción).

Agujas Irritación Otras: _____
 Cosquilleo Insensibilidad _____
 Escalofríos Dolor _____

Si siente alguna otra sensación / efecto secundario que no se describa anteriormente, detállela a continuación.

T.1 PRE-INGESTA

TEST DE PARESTESIA

**A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM
β-ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PORFFESIONAL
ENDURANCE CYCLISTS**

FECHA: 31 / 01 / 2020

CODE: ____ ____

INTENSIDAD DE LA SENSACIÓN: ESCALA VISUAL ANALÓGICA (EVA)

Marque con una línea vertical el lugar en la escala que mejor refleje la intensidad con la que percibes sensaciones inusuales en este momento. Teniendo en cuenta que *Sensación no inusual* es 0 y la *Sensación más intensa imaginable* es 10.

No inusual
sensación |-----| Sensación
más intensa
imaginable

DESCRIPCIÓN DE SENSACIONES INUSUALES

De las siguientes sensaciones inusuales señale las que hayas sentido tras el consumo del producto (puedes seleccionar más de una opción).

Agujas

Irritación

Otras:

Cosquilleo

Insensibilidad

Escalofríos

Dolor

Si siente alguna otra sensación / efecto secundario que no se describa anteriormente, detállela a continuación.

T.2 PRE-INGESTA

TEST DE PARESTESIA

ANEXO 7: Recomendaciones nutricionales

Nutrition Factsheets 2020	
LUNCH WORKOUT	
1H30' TT BIKE	Green vegetables salad with legumes and seeds or avocado, quinoa or buckweat + white or tuna fish or mozzarella + green apple or white yogurt
SIMULATION RACE TT e ITT	Fresh colored vegetables, corn, rice or spaghetti with fresh tomatoes + withe fish + salad or baked fruits
4H30 with climb	Green vegetables salad with legumes and seeds or avocado, whole pasta or spelled or red rice, turkey or mackerel or sword fish or raw prosciutto + parmigian, ananas or papaya or berries
4H30 with test and sprint	Fresh vegetables low fibers + green beens + pasta or barley + chicken + pear or yellow apple
5H30-6H	Barley or rice or boiled potatoes, corn, colored vegetables, parmigian o tuna or chicken or greek yogurt , said fruits or berries or papaya or ananas
Dressing lunch/dinner : * Grated parmigian, olive oil, pink salt, lemon Replacementfood CEREALS bread = ricecakes WHITEBREAD if glicoliticwork (TT or test)	

Nutrition Factsheets 2020

DINNER THE DAY BEFORE TRAINING

1H30' TT BIKE	Boiled green vegetables (and/or soup) + Spelled/bukweat or boiled potatoes or cereal bread + grilled meat + citrus or berries or ananas or papaya , few avocado
SIMULATION RACE TT e ITT	Mix colored vegetables (carrots, red beets, pumkin) and/or soup , rice or spaghetti, grilled chicken o turkey + salad fruits + white yogurt
4H30 with climb	Mix vegetables (boiled and grilled), green beans, whole pasta (also with pesto alla genovese) or boiled potatoes/ spelled + cereals bread, grilled veal o sword fish, pear or berries + white greek yogurt or avocado
4H30 with test and sprint	Vegetables medium fibers, spaghetti or barley with green beans, cereal bread, chicken legs + yellow apple or ananas + withe yogurt
5H30-6H	Boiled vegetables (red beets, pepper , green beans or chickpeans), pasta also with pesto alla genovese or barley, boiled potatoes or cereals bread, baked salmon, papaya or berries + greek yogurt or avocado

Nutrition Factsheets 2020 BREAKFAST	
1H30' TT BIKE	CHO WITH FIBERS , PROTEIN, LOW SYMPLE SUGARS, MORE FAT
SIMULATION RACE TT e ITT	LOW FIBER, CHO MEDIUM-HIGH GLICEMIC INDEX , LOW FAT, SYMPLE SUGAR, PROTEIN HIGH DIGESTIBILITY RICE
4H30 with climb	CHO MEDIUM – LOW IG, FAT, PROTEIN, MEDIUM SYMPLE SUGARS
4H30 with test and sprint	CHO MEDIUM IG, FAT, PROTEIN HIGH DIGESTIBILITY, SYMPLE SUGARS
5H30-6H	PORRIDGE , CHO MEDIUM IG, MEDIUM FAT, PROTEIN, LESS- MEDIUM SYMPLE SUGARS

LOOK AT THE LIST OF FOOD GUIDELINES FOR BREAKFAST

**Nutrition Factsheets
2020
SNACK**

LOOK AT THE LIST OF FOOD GUIDELINES FOR BREAKFAST

NO SNACK AFTER LONG TRAINING

LOW CARB AND LOW SYMPLE SUGAR IF RECOVERY DAY

ANEXO 8: Cronograma del orden de las pruebas de los sujetos en las visitas



BREAKFAST

GROUP 1	GROUP 2
AT 7.00	AT 8.00

TEST INDOOR

GROUP 1				
	<u>LLEGADA</u>	<u>WARM-UP</u>	<u>TEST</u>	<u>TRAINING</u>
1	7:50	8:00	8:15	START AT 10:45
2	7:50	8:00	8:15	
3	8:20	8:30	8:45	
4	8:20	8:30	8:45	
5	8:50	9:00	9:15	
6	8:50	9:00	9:15	
7	9:20	9:30	9:45	

GROUP 2				
	<u>LLEGADA</u>	<u>WARM-UP</u>	<u>TEST</u>	<u>TRAINING</u>
8	9:50	10:00	10:15	START AT 12:15
9	9:50	10:00	10:15	
10	10:20	10:30	10:45	
11	10:20	10:30	10:45	
12	10:50	11:00	11:15	
13	10:50	11:00	11:15	

TEST AT THE TOP PF COL DE RATES

GROUP 1	GROUP 2
AT 12.45	AT 13.30

ANEXO 9: Hoja de registro de datos de la prueba en condiciones de laboratorio

V.1

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM B-ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE
OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL ENDURANCE CYCLISTS

TEST INDOOR (TT de 10 minutos)

Montaje y Desmontaje	07:50		
Recibimiento y Pesaje	07:50		
Previo calentamiento	07:55		1
10 minutos Calentamiento	08:00 - 08:10		
1 minuto	08:10		
1 minuto	08:11		2
10 minutos Prueba TT	08:12 - 08:22		
Al finalizar	08:22		3
3 minutos	08:22-08:25		
A los 3 minutos	08:25		4
Desmontaje y Montaje	08:25 - 08:30		

HORA INICIO: 08:06 / 8:18 *cal. prueba* FIN prueba 8:28

HORA MONTAJE BICI: _____

ABL / LACTATO	Basal	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
	Pre-prueba de 10 minutos	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
	Post-prueba de 10 minutos	<input checked="" type="checkbox"/>	10,5
	A los 3 minutos	<input type="checkbox"/>	11,0
BORG			
E: BORG	Pre - prueba		2
	Post-prueba de 10 minutos		10

10' TT

SI NO

β-ACE 01

ANEXO 10: Hoja de registro de datos de la prueba del Coll de Rates

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM
 β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PORFFESIONAL
 ENDURANCE CYCLISTS

CONTROL LACTATO Y BORG

Salida del Col de Rates

<u>CÓDIGO</u>	<u>LACTATO</u>	<u>ESCALA BORG</u>
β-ACE 01		
β-ACE 02		
β-ACE 03		
β-ACE 04		
β-ACE 05		
β-ACE 06		
β-ACE 07		
β-ACE 08		
β-ACE 09		
β-ACE 10		
β-ACE 11		
β-ACE 12		
β-ACE 13		

A RANDOMISED DOUBLE-BLIND CLINICAL TRIAL TO ANALYSE THE EFFICACY OF SHORT-TERM β -ALANINE SUPPLEMENTATION IN PERFORMANCE OUTCOMES OF ROAD PROFESSIONAL ENDURANCE CYCLISTS

CONTROL LACTATO Y BORG

Llegada al Col de Rates

<u>CÓDIGO</u>	<u>LACTATO</u>		<u>ESCALA BORG</u>
β-ACE 01			
β-ACE 02			
β-ACE 03			
β-ACE 04			
β-ACE 05			
β-ACE 06			
β-ACE 07			
β-ACE 08			
β-ACE 09			
β-ACE 10			
β-ACE 11			
β-ACE 12			
β-ACE 13			

ANEXO 11: Informe de comité de ética favorable



UCAM ETHICS COMMITTEE

PROJECT DATA

Title:	“A randomised double-blind clinical trial to analyse the efficacy of short-term β -Alanine supplementation in performance outcomes of road professional endurance cyclists”	
Principle Researcher	Name	Email
PhD.	Vicente Ávila Gandía	vavila@ucam.edu

COMITTEE REPORT

Date	31/01/2020	Code	CE012004
-------------	------------	-------------	----------

Type of Experimentation

Experimental clinical research involving human subjects	X
Using human tissues from patients, embryonic or fetal tissue	X
Using human tissues, embryonic or fetal tissue from banks or tissue samples	
Use of personal data, genetic information, etc.	X
Animal studies	
Use of biological agents of risk to human health, animal or plant	
Use of genetically modified organisms (GMOs)	

Comments regarding the type of experimentation
No comments

Comments regarding the methodology of experimentation
No comments





UCAM ETHICS COMMITTEE

Suggestions for the researcher

In view of the application of the attached report by the Researcher and the above mentioned recommendations, the opinion of the Committee is to:

Issue a favorable report	X
Issue an unfavorable report	
Issue a favorable report with subject to correction	

MOTIVATION

It will increase knowledge in this area

Approved by the President,

Sig.: José Alberto Cánovas Sánchez



Approved by the Secretary,

Sig.: José Alarcón Teruel

ANEXO 12: Hoja de información para el sujeto**ANEXO III****HOJA INFORMATIVA**

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Nuestra intención es que reciba la información correcta y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar en este estudio. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir después de la explicación. Además, puede consultar con las personas que considere oportuno.

Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y que puede decidir no participar o cambiar su decisión y retirar el consentimiento en cualquier momento.

1. PROCESOS EN EL ESTUDIO E INSTRUCCIONES

Este proyecto va a analizar la eficacia en el rendimiento físico del consumo de una suplementación crónica a corto plazo de β -Alanina en ciclistas profesionales. Se pretende aumentar la dosis máxima dada hasta ahora según los estudios realizados anteriormente, sin experimentar los efectos secundarios asociados al consumo de beta-alanina como la parestesia. Se llevará a cabo de la siguiente manera: estudio clínico aleatorizado, controlado, doble ciego, de dos ramas en función del producto consumido (producto experimental y producto placebo). Los productos serán consumidos todos los días desde la medición previa y hasta el final del estudio, 4 ingestas de 5 g cada una (un tubo de plástico colmado) en cada toma, con las comidas principales o espaciado 4 horas, durante 8 días. Al comienzo y al final del periodo de suplementación, se harán pruebas contrarreloj para medir la eficacia sobre el rendimiento físico. El primer día (24 de enero), el producto se tomará 3 veces: después de las pruebas físicas (con la comida principal), por lo menos 4 horas después o con la cena, y cuatro horas después de esta toma o con la cena (depende de el tiempo programado para la cena). El último día (antes de los tests físicos: 31 de enero) el producto se consumirá únicamente con el desayuno. El producto sobrante del estudio se debe retomar al equipo de investigación ese día.

2. ¿CUALES SON LOS BENEFICIOS?

Se esperan mejoras en el rendimiento físico (indoor y outdoor) y probablemente una disminución de la percepción de fatiga. También se medirán sensaciones de parestesia cuyas sensaciones pueden cambiar (aumentando, disminuyendo o cambiando en su naturaleza) por este corto periodo de suplementación.

3. ¿CUALES SON LOS RIESGOS?

Durante las pruebas físicas, la punción del dedo (microcapilares de sangre) puede provocar la aparición de un hematoma leve localizado en esa zona.

El consumo del producto, en ocasiones se puede hacer aparecer parestesia en diferentes puntos de su cuerpo durante unos minutos. Otros posibles efectos secundarios raros incluyen: síntomas

gastrointestinales (incluyendo disconfort estomacal), cambios en el hábito de deposiciones (diarrea y/o estreñimiento) y náusea. A veces el producto aparece en las heces, lo cual es totalmente normal.

4. CONTACTO, PREGUNTAS Y DUDAS

Estudio realizado por Cátedra de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Católica de Murcia. El investigador principal es el Dr. Vicente Ávila Gandía (tel. +34 968 278 757) y el jefe del departamento el Dr. Fco. Javier López Román (tel. +34 968 278 523).

Le invitamos a realizar todas las preguntas que considere oportunas al investigador responsable de informar a los sujetos (Antonio Torregrosa García tel. +34 968 278 213) que estará disponible para ofrecerle todas las explicaciones que necesite acerca del presente estudio.

5. REQUISITOS DE LOS PARTICIPANTES

Para confirmar su voluntad de participar en el estudio, es necesario que firme el formulario de consentimiento que le ofrecerá junto con la hoja de información y se lo devuelva a los investigadores.

Le recomendamos que conserve este documento para revisarlo en cualquier momento durante el estudio.

ANEXO 13: Consentimiento informado para el sujeto**ANEXO II****CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo,, con DNI:.....

DECLARO:

Haber sido informado/a del estudio y procedimientos de la investigación del Proyecto titulado: A randomised double-blind clinical trial to analyse the efficacy of short-term β -alanine supplementation in performance outcomes of road professional endurance cyclists.

Comprendo que los datos de rendimiento de la prueba serán grabados y me comprometo a facilitarlos, así como datos relevantes personales y de acondicionamiento físico con fines de investigación que pueden ser revisados por los siguientes investigadores:

Vicente Ávila Gandía. Investigador principal.

Francisco Javier López Román.

Antonio Luque Rubia.

M^a Salud Abellán Ruiz.

Antonio Martínez Garrido.

Antonio Torregrosa García.

Eva Rocamora Díez.

Lydia de Salazar Sánchez-Ferraquí.

Silvia Pérez Piñero.

Desirée Victoria Montesinos.

Natalia Ibáñez Soroa.

Javier Mahruenda Hernández.

Ana M^a García Muñoz.

Maravillas Sánchez Macarro.

Asimismo, he podido hacer preguntas del estudio, comprendiendo que me presto de forma voluntaria al mismo y que en cualquier momento puedo abandonarlo sin que me suponga perjuicio de ningún tipo.

CONSIENTO:

1.-) Someterme a las siguientes pruebas exploratorias (en su caso):

- Peso y bioimpedancia.
- Talla.
- Test de parestesia.
- Prueba de pedaleo en cicloergómetro. Prueba contrarreloj.
- Microcapilares por punción de dedo (ABL).
- Test de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE). Test de Borg.
- Prueba contrarreloj en pista (5,1 kms de subida con un desnivel total de 350 metros (6% inclinación) - (Ascensión de Coll de Rates). Prueba cronoescala.

2.-) El uso de los datos obtenidos según lo indicado en el párrafo siguiente:

En cumplimiento del Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, Real Decreto-Ley 5/2018, de 27 de julio y Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones a las que se va a someter pasará a formar parte del fichero automatizado INVESALUD, cuyo titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO CIENCIAS EXPERIMENTALES Y CIENCIAS DE LA SALUD. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos de Guadalupe 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En Calpe (Alicante) a de de 2020

Firmado (voluntario):..... Firmado (investigador):.....

ANEXO 14: Informe individualizado de los resultados.

A cada uno de los ciclistas se les entregó un informe con los resultados de ambas pruebas y de ambos días, con una comparación y evaluación de si mejoraron sus resultados o no, así como si el consumo que realizaron fue de β -alanina o placebo.



β-ACE 07	Nombre:	
	Fecha Nacimiento:	
	Edad:	
	Altura (cm):	
	Nacionalidad:	
	VO _{2max} :	
	VO _{2max} /kg:	

Usted ha participado en un estudio con el que se pretendía conocer la **eficacia de una suplementación de β -Alanina a corto plazo en los resultados de rendimiento** de dos pruebas diferentes.

COMPOSICIÓN CORPORAL 

Producto ingerido: β -Alanina

Tabla 1. Comparación de la composición corporal del sujeto al inicio y al final con la media del equipo.

		Peso (kg)	Masa Grasa (%)	Masa Grasa (kg)	Masa Magra (kg)	Masa Muscular (kg)	IMC
CONTRERAS	Basal	67,8	10,5	7,1	60,7	57,7	20,9
	Final	68,6	10,5	7,2	61,4	58,3	21,2
EQUIPO	Basal	69,2	8,1	5,7	63,5	60,3	21,2
	Final	68,7	7,9	5,5	63,2	60,1	21,5

Es necesario destacar que, durante los 8 días entre pruebas, el sujeto aumentó su peso en 0,8 kg. Este cambio ha sido por una ganancia de masa muscular de 0,6 kg. Además, mantiene su % de masa grasa en el transcurso de los días.

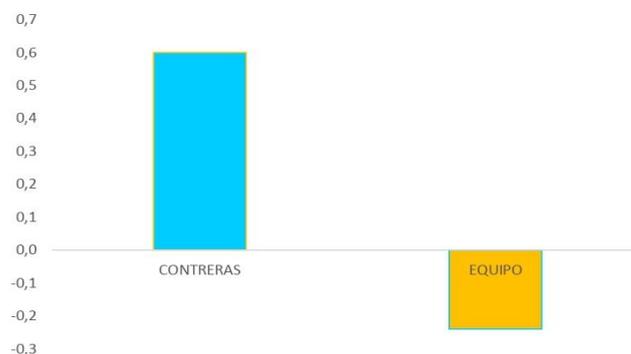


Gráfico 1. Ganancia de la masa muscular del sujeto y la media de ganancia del equipo.



PRUEBA INDOOR



En la prueba indoor debía de realizar una prueba por tiempo. Es decir, intentar conseguir realizar el máximo número de kilómetros en 10 minutos. Para ello se realizaba encima de un ergómetro. Las variables de rendimiento analizadas se detallan en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 2. Parámetros totales en cada día de prueba.

		Total
Distancia (km)	Día 1	7,163
	Día 2	7,137
Revoluciones	Día 1	1020
	Día 2	977
Trabajo (kJ)	Día 1	216
	Día 2	213



En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de la distancia en la prueba indoor en los dos días donde se realizó. Se puede observar que las dos pruebas son bastante semejantes y, por tanto, no se encuentran diferencias significativas.

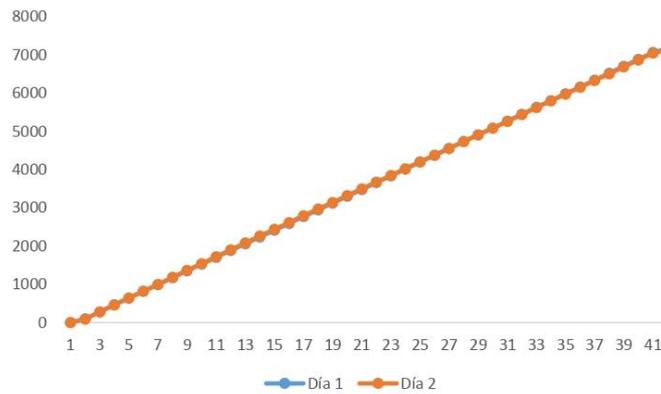


Gráfico 2. Evolución de la distancia durante los 10 minutos en los dos días de prueba.



Tabla 3. Escala de borg y lactato durante la prueba indoor.

		Día 1	Día 2
Escala de Borg	Pre-prueba (1' post calentamiento)	2	3
	Post-prueba indoor	6	9
Lactato	Basal	1,5	2,3
	Post-calentamiento	1,1	1,7
	Post-prueba indoor	8,8	10,9
	3' post prueba	6,3	6,3

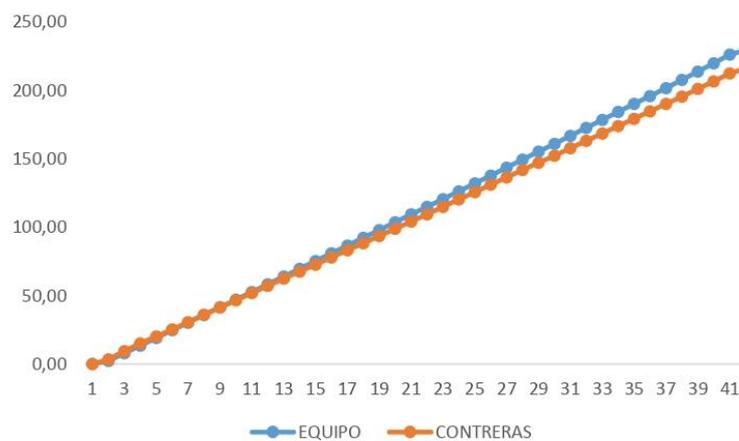

Tabla 4. Evolución de variables mecánicas en la prueba indoor.

		Promedio	Máximos
Velocidad (km/h)	Día 1	42,99	50,50
	Día 2	42,81	48,40
Potencia (W)	Día 1	359,72	565,00
	Día 2	355,36	502,00
Fuerza Pedalada (N)	Día 1	195,96	377,00
	Día 2	202,17	349,00
Cadencia (rpm)	Día 1	101,93	111,00
	Día 2	97,59	102,00
Trabajo (kJ)	Día 1	107,04	216,00
	Día 2	107,47	213,00

El sujeto no obtiene mejoras de rendimiento significativas en la prueba indoor al comparar los resultados obtenidos tras los dos días.

Algunas de las variables analizadas se encuentran a continuación.

En la variable trabajo (kJ) se puede observar que ambos días se encuentra por debajo de la media, sin embargo, es el segundo día cuando se encuentra más cerca de la media grupal. Este acercamiento no es debido a una mejora del sujeto, sino que a un empeoramiento de la media del equipo.


Gráfico 3. Evolución de la variable trabajo del sujeto y de la media del equipo en el día 1.

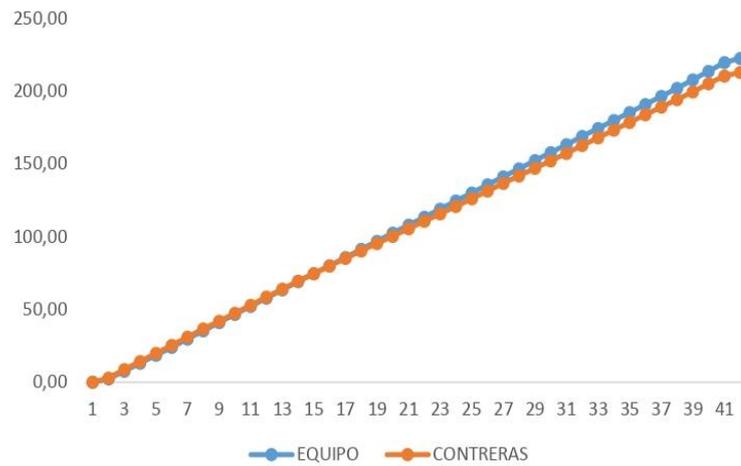


Gráfico 4. Evolución de la variable trabajo del sujeto y de la media del equipo en el día 2.

En los siguientes gráficos se puede observar la evolución de las variables de velocidad y potencia en ambos días de prueba. Teniendo en cuenta lo visto en el resto de variables, es de esperar que ambos días tengan valores muy similares. Además, el segundo día se encuentran valores un poco inferiores, en ambas variables, a lo largo de toda la prueba.

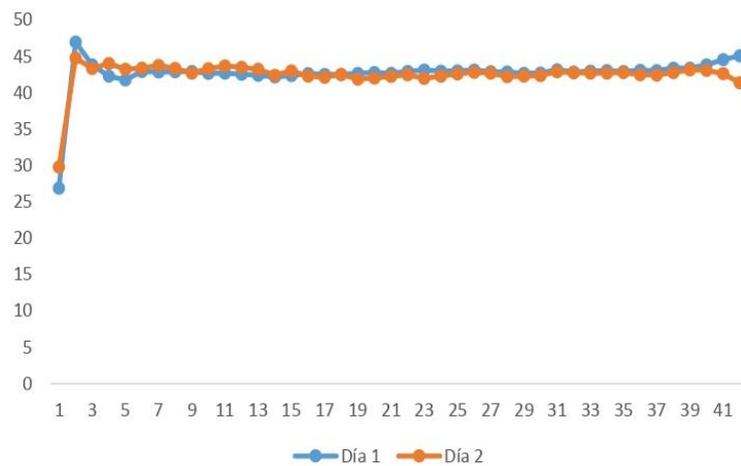


Gráfico 5. Evolución de la velocidad durante la prueba indoor en los dos días de prueba.

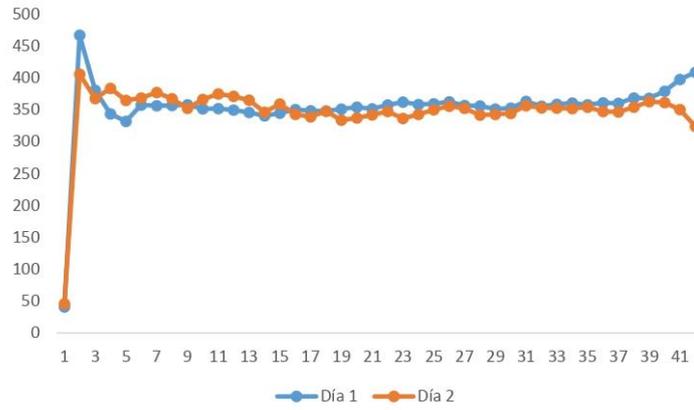
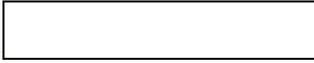


Gráfico 6. Evolución de la potencia durante la prueba indoor en los dos días de prueba.



PRUEBA DE CAMPO

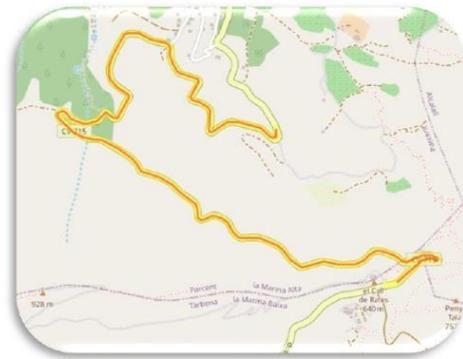
COLL DE RATES



En la prueba de campo debía de realizar en el menor tiempo posible una distancia predeterminada. Para ello, se utilizó la subida del Coll de Rates. Las variables de rendimiento analizadas se detallan en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 5. Parámetros totales de cada día de prueba.

		Total
Duración	Día 1	09:55
	Día 2	09:44
Distancia (km)	Día 1	4,612
	Día 2	4,622
Trabajo (kJ)	Día 1	260
	Día 2	264
Trabajo W' (kJ)	Día 1	111
	Día 2	118
Desnivel acumulado (metros)	Día 1	258
	Día 2	250



Teniendo en cuenta los dos días de pruebas, se puede determinar de forma clara, una mejora en la prueba de campo después de los 8 días de consumo del producto. La media del equipo para completar la subida al Coll de Rates fue de aproximadamente 11' ambos días.



Tabla 6. Escala de Borg y lactato durante la prueba de campo

		Día 1	Día 2
Escala de Borg	Pre-prueba	3	3
	Post-prueba	10	10
Lactato	Pre-prueba	1,1	1,2
	Post-prueba	13,5	13,3
	3' post prueba	11,6	14,6

Tabla 7. Evolución de variables mecánicas en la prueba de campo.

		Promedio	Máximos
Velocidad (km/h)	Día 1	27,9	35,2
	Día 2	28,5	39,1
Potencia (vatios)	Día 1	436	712
	Día 2	451	800
Frec. Cardíaca (ppm)	Día 1	181	191
	Día 2	176	186
Cadencia (rpm)	Día 1	96	109
	Día 2	88	102



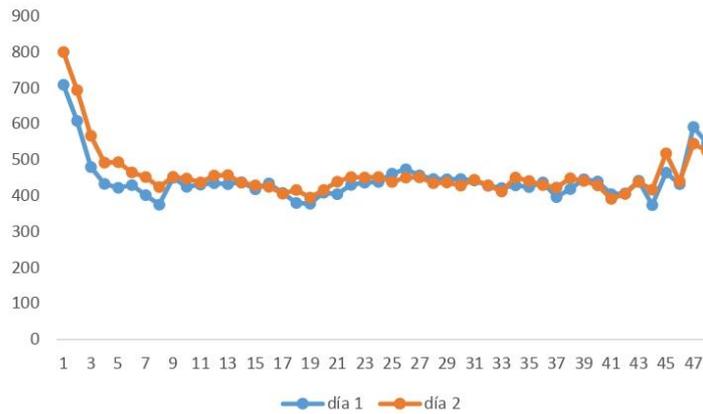
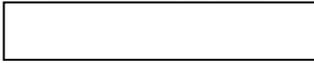


Gráfico 7. Evolución de la potencia durante la prueba de campo en los dos días de prueba.

Tabla 8. Zonas de trabajo W' durante el desarrollo de la prueba en ambos días.

Zona	Descripción	Día 1			Día 2		
		Trabajo (kJ)	Tiempo	%	Trabajo (kJ)	Tiempo	%
W1	Recuperado	8,1	00:13	2	7,1	00:10	2
W2	Fatiga Moderada	13,1	00:26	4	10,1	00:17	3
W3	Fatiga Elevada	15,1	00:34	6	13,2	00:24	4
W4	Fatiga Severa	132,9	08:42	88	243,2	08:53	91

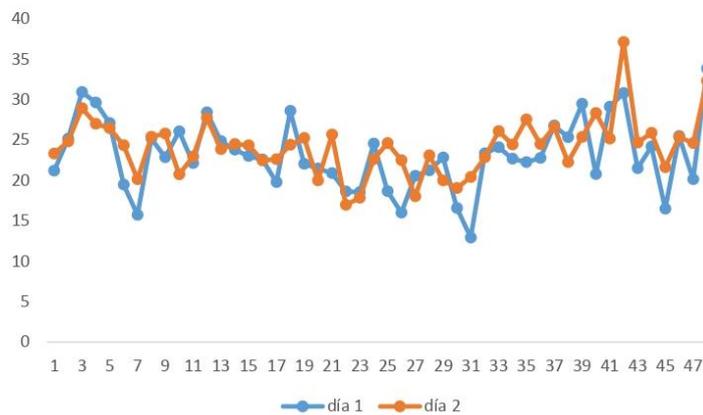
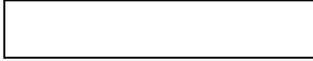


Gráfico 8. Evolución de la velocidad durante la prueba de campo en los dos días de prueba.



A la hora de realizar una prueba de campo es muy importante tener en cuenta las características del puerto. Esto es así, ya que es muy importante determinar la velocidad de ascensión media (VAM) del ciclista para determinar la economía del mismo. Este valor será el indicativo del ritmo medio de ascensión y pretende darnos una estimación bastante precisa de la potencia relativa empleada por el ciclista. Además, nos permitirá comparar ritmos entre ciclistas de diferentes características físicas.

PUERTO DE COLL DE RATES:

- Desnivel medio acumulado: 255 metros
- Pendiente media: 5%

Teniendo en cuenta esta información el valor de VAM para el sujeto, el primer día, es de 1542,86 m/h.

$$VAM = \frac{\text{desnivel medio acumulado (metros)}}{\text{tiempo invertido (horas)}} = \frac{255 \text{ metros}}{0,165 \text{ horas}} = 1542,86 \text{ m/h}$$

Con respecto al segundo día que se realizó la prueba, el valor de VAM para el sujeto es de 1571,92 m/h.

$$VAM = \frac{\text{desnivel medio acumulado (metros)}}{\text{tiempo invertido (horas)}} = \frac{255 \text{ metros}}{0,162 \text{ horas}} = 1571,92 \text{ m/h}$$

Estos valores determinan el desnivel en metros positivos que es capaz de realizar el ciclista en una hora, siendo la mejora de este sujeto de un 1,88%.

A pesar de que este valor es útil a nivel de rendimiento, interesa conocer la potencia relativa del ciclista en vatios por kilo.

$$\text{Potencia relativa } \left(\frac{W}{kg}\right) = \frac{VAM \left(\frac{m}{h}\right)}{(\text{Factor grado} * 100)} \quad \text{Factor grado} = 2 + \frac{\text{pendiente media}}{10}$$

- Día 1:

$$\text{Potencia relativa } \left(\frac{W}{kg}\right) = \frac{1542,86}{(2,5 * 100)} = \frac{1542,86}{250} = 6,171 \text{ vatios/kilo}$$

- La potencia absoluta en día 1 es: 418,39 w

- Día 2:

$$\text{Potencia relativa } \left(\frac{W}{kg}\right) = \frac{1571,92}{(2,5 * 100)} = \frac{1571,92}{250} = 6,288 \text{ vatios/kilo}$$

- La potencia absoluta en día 2 es: 431,36 w

La ingesta de 20g de β- Alanina al día (dividida en cuatro tomas), durante 7 días (155g de β- Alanina acumulada) ha mejorado el rendimiento en ambas pruebas. Consiguiendo que estas mejoras sean notorias no sólo entre un día y otro, sino que con respecto al equipo participante en el estudio.

"Nunca pienses que lo sabes todo. Ten siempre el coraje de decirte a ti mismo: soy un ignorante".
I. Petrovich Pavlov (1849-1936).

