

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL
DEPORTE (INEF)



**Suplementación deportiva en natación:
Efectos ergogénicos del zumo de
remolacha en el rendimiento deportivo
en nadadores competitivos.**

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

Berta Moreno Heredero

Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Madrid, 2024



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte (INEF)

Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

**Suplementación deportiva en natación:
Efectos ergogénicos del zumo de
remolacha en el rendimiento deportivo
en nadadores competitivos.**

TESIS DOCTORAL

Presentada para optar al título de Doctor por:

Berta Moreno Heredero

Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Bajo la dirección de:

Dr. Santiago Veiga Fernández

Dra. Esther Morencos Martínez

Madrid, 2024

Título: Suplementación deportiva en natación: Efectos ergogénicos del zumo de remolacha en el rendimiento deportivo en nadadores competitivos

Autora: Berta Moreno Heredero

Programa de Doctorado: Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Dirección de tesis:

Dr. Santiago Veiga Fernández, Profesor Permanente Laboral, Universidad Politécnica de Madrid (Director)

Dra. Esther Morencos Martínez, Contratada Doctora, Universidad Francisco de Vitoria (Codirectora)

Revisores externos:

Tribunal de tesis:

Fecha de defensa:

Esta tesis ha sido cofinanciada por la Unión Europea y la Universidad Francisco de Vitoria, gracias a un convenio de subvención Erasmus+ para movilidades de formación. Gracias a esta beca pude participar en una estancia de investigación, dentro del Programa de Movilidad Internacional de Larga Estancia para profesores de la Universidad Francisco de Vitoria durante el curso académico 2021-2022. Durante esta estancia estuve trabajando en el Instituto Politécnico de Bragança (Portugal) y recogiendo los datos del estudio 3 de esta Tesis Doctoral. El periodo de movilidad se desarrolló del 26 de abril al 23 de mayo de 2022.

Agradecimientos

Sigo sin creer que este día al fin haya llegado, un trabajo de ciencia y alma, un camino recorrido. Autoconocimiento, reflexión, y en cada paso tropezado, levantarse con constancia, madrugones sin sentido.

Un aprendizaje absoluto, valores del deporte arraigados, desde mi infancia, en lo más profundo de mi ser. El sendero lleno de altibajos, momentos solitarios enfrentados, pero también acompañada por quienes me han visto crecer.

A todos quiero agradecer, en este momento especial, por estar ahí en cada fase de este proceso singular. En mayor o menor medida, conscientes del caminar, les llevo conmigo en cada parte de esta Tesis Doctoral.

Santi, Director fiel de mi camino incierto, gracias por creer en mí desde el primer momento. Aceptaste mi andar sin conocernos, cierto, confiando más en mí de lo que yo hacía, atento. Tu profesionalidad y meticulosidad, un don, en cada paso del documento y en cada transacción. Gracias, de corazón, por esta colaboración, tu apoyo fue clave en esta misión.

Esther, querida amiga de fuerza y razón, tu mensaje resonó como un eco en mi interior. "Resistir, insistir, persistir y nunca, nunca... desistir", palabras que guiaron mi espíritu con fervor. Guardo estas palabras como un tesoro sin igual, sabiendo que repetirlas sería crucial. Gracias por escribirlas y caminar junto a mí, en la tesis y en la vida, siempre aquí.

Nuria, conexión repentina llena de prudencia, gracias por tu confianza y apoyo con diligencia. Tu paciencia y cariño, en cada circunstancia, fueron faro y abrigo en esta danza. Consejera sabia y compañera en la travesía, tu presencia fue un bálsamo cada día. Gracias por tu amor cuando más lo necesité, en este viaje, contigo, me sentí protegida y en pie.

A mis amigos de jornada, fieles en cada momento, hemos compartido lo mejor y lo cruento. Juntos construimos, aprendizajes y sueños, que perdurarán más allá de los empeños. Vuestra presencia ha sido luz en los días oscuros, motivadores en cada desafío que se ha presentado. Construimos juntos parte de este sueño anhelado, sembrando aprendizajes que perdurarán, puros.

Gracias por vuestra ayuda, por el apoyo incondicional, por las risas compartida, por cada gesto de amistad. En esta travesía laboral, en esta bella realidad, hemos tejido lazos que van más allá de lo racional.

Iñaki, compañero de risas y abrazos sinceros, contigo comparto música, deporte y momentos enteros. De despacho a amigos, nuestro lazo se hizo fuerte, gracias por estar siempre cerca, por tu apoyo siempre inerte. Juntos enfrentamos momentos duros, muy duros también, pero nunca faltaron las bromas que nos unen con placer. Eres más que un amigo, eres mi hermano fiel, gracias por nunca soltarme la mano, por ser mi gran laurel.

Pablo G Frutos, amigo querido de toda una vida, tantos momentos vividos, solo recuerdo la alegría. Si alguna tristeza llegó, tú la convertiste en melodía, gracias por tanta positividad y energía desmedida.

Acebes, testigo de mis momentos más oscuros, siempre presente, respetando mis apuros. Tus palabras justas y oportunas, verdaderos muros, gracias por tu tiempo, por ser mi seguro.

A todos los que comparten mi jornada, gracias por estar en este camino conmigo. No puedo pedir más, qué fortuna tan anhelada, teneros como compañeros, amigos queridos. Estoy rodeada por vuestra buena energía, vuestra amistad me acompaña día tras día. Cada uno aporta un pedacito a esta sinfonía, de trabajo y esfuerzo, en armoniosa armonía.

De todo corazón, agradezco vuestra presencia, enriqueciendo mi vida con vuestra esencia. Juntos construimos una historia de excelencia, donde la gratitud florece con cada presencia.

Michelle, cuando el alma llora, Luis B., en cada vendaval, mi fiel aurora, Patri, viajera en busca de horizontes lejanos, Gemi, amicompi en los momentos más insanos.

Barbara, siempre divertida, llenando de alegría, María, trabajadora, luchadora día tras día. Luna, amable y cariñosa, siempre atenta, rodeando con su luz cada momento y cada cuenta.

Pilar, sociable y cálida en cada reunión, Yas, irradiando felicidad, pura emoción. Berta, en constante descubrimiento y exploración, Sonia, aventurera, buscando la acción.

Inma, desbordante alegría en su ser, Amu, atenta y presente, sin temer. Elena, organizada, con precisión y claridad, Mache, cantarina, alegrando la realidad.

Jorge H., atento en cada situación, Millán, espontáneo, lleno de emoción. Manu, siempre dispuesto a dar su apoyo fiel, Julio, auténtico y sincero como la miel.

Enrique, generoso en cada gesto sincero, Rodri, cariñoso, un amigo verdadero. Alfredo, risueño y alegre en cualquier ocasión, Rafa, chistoso, llenando de diversión.

Pablo Deza, organizado en su quehacer diario, Germán, diligente y trabajador extraordinario. Kyko, guardián fiel de momentos especiales, Dani, festivo y alegre, en roles formales.

Davinia, salvavidas en lo laboral, lo doctoral y lo personal. Jaime, agradecido por cada instante vivido, Varillas, ingenioso, siempre divertido.

Violeta, serena y tranquila en su andar, Juan Carlos, cuidadoso en cada lugar. Juan, paciente y sereno, sin perder la calma, Ale, constante en su esencia, sin drama.

Eulisis, bondadoso y amable en su actuar, Iván, chispeante y especial al caminar. Vicente, confidente en cualquier circunstancia, Manu J. Rodríguez, optimista con esperanza.

A mi familia querida, fuente de amor constante, siempre al lado sin saber qué esperar, apoyándome en cada paso importante, preguntando y alentando sin cesar.

Mikel, amigo y compañero leal en cada paso, siempre dispuesto a dejarme volar sin contratiempo. Atento a las necesidades con un gesto sin tapujo, no hay palabras que expresen mi gratitud en este tiempo. Te agradezco en cada latido, con profunda certitud, por iluminar mi sendero, siempre virtud.

Jon y Leo, sois la chispa que enciende mis días, la fuerza que llena mis alegrías. Con vosotros el mundo se vuelve mejor, cada abrazo vuestro me llena de amor. En los malos ratos sois mi calma, un refugio seguro que llena mi alma. Con risas y juegos mi vida alegráis, y hasta en los retos más duros estáis. Espero que siempre disfrutéis junto a mí, como yo disfruto al veros reír. Vuestros besos y abrazos son mi verdad, os quiero más que a la misma eternidad.

Mamá y papá, gracias por todo vuestro amor, por cuidarme y quererme sin medida ni temor. Escuchándome siempre, dejándome ser yo, soñar, reír, llorar juntos, en cada resplandor. Gracias por descubrirme la paz de la música y el arte, enseñándome el valor del esfuerzo en cada parte. Por llevarme a competiciones y despertar temprano, apoyándome siempre, con cariño y sin desgano. Mostrándome lo bello de dormir bajo

las estrellas, aprender a montar una tienda, aventuras tan bellas. En la montaña o en la playa, disfrutando cada escena, gracias por ser el equipo que ilumina mi existencia.

Mamá, mujer de carácter, decidida y divertida, siempre lista para todo, en cualquier medida. Sufridora por dentro, aunque nadie lo perciba, una fortaleza oculta, profunda y tan viva.

Papá, hombre sensible y preocupado, leal a su familia y amigo entregado. Aunque maniático a veces, siempre dispuesto a cambiar, porque su amor por los suyos no deja de brillar.

Ojalá sintáis la mitad del orgullo que siento por vosotros, porque sois la luz en mi vida, mis mayores tesoros.

Sara, mi HERMANA querida, un tesoro sin igual. **H**eroína de emociones, un resplandor sin final. **E**jemplar en sus actos, en su pensamiento fiel, **R**adiante entre seres queridos, su luz es un laurel. **M**aestra de la verdad, con sabiduría en su ser, **A**legre y alborotadora, contagia su querer. **N**oble consigo misma y con todos, sin poder, **A**miga incondicional, en cada paso, un ser. No sabes cuánto te necesito, cuánto te extraño, mi orgullo por ti desborda, como un río sin daño. Admiración por tu esencia, por ser siempre mejora, arrojándote a la vida con valor y sin demora. Te quiero muchísimo, HERMANA, con amor sin final, por ser quién eres, por cada paso, por cada umbral.

Julio, mi querido cuñado, con visión singular, siempre aportando perspectivas que no dejan de asombrar. Mente maravillosa, dispuesta a cambiar por amor, divertido, ingenioso, cariñoso, atento y soñador. Gracias por tu apoyo leal, en este proceso único y en cada detalle crucial. Siempre presente, amigo fiel, sin igual, tu compañía y apoyo son un regalo especial.

A mis amigas del alma, mis queridas niñas bonitas, confidentes y consejeras en cada paso dado. Juntas, cada desafío se vuelve más sencillo, con vosotras, nunca hay día demasiado complicado.

Ali, Ana, Anita y Leti están, Marta, María y Raquel no faltarán. Gracias por estar, por reír, por llorar, por hacer de mi mundo un mejor lugar. Compañeras de risas, refugio en tormentas, con vosotras la vida siempre es más contenta. Cada paso difícil se vuelve ligero, porque juntas formamos un lazo sincero.

Abstract

Swimming is one of the most popular sports disciplines, with events ranging from 50 to 1500 meters and efforts of approximately 21 seconds to 15 minutes. In order to optimize their physical performance, swimmers make use of nutritional strategies such as sports supplements (SS), which are classified according to scientific evidence on their impact on performance. Among them, nitrate (NO_3^-) or Beetroot Juice (BJ) is one of the most researched suggesting that chronic (3-15 days) and acute (single dose before exercise) supplementation could 1) reduce the Oxygen (O_2) cost of submaximal exercise and 2) improve skeletal muscle contractile function and power developed in sprinting. However, there is no consensus among the different studies.

The present doctoral thesis seeks to deepen on the use of SS in competitive swimmers and specifically, on the effects of BJ on performance. Three studies were proposed: In study 1, the use of SS in competitive swimmers (national and international levels) was analyzed and the consumption pattern according to sex and competitive level was described. 102 swimmers (59 men and 43 women) competing in national ($n = 60$) and/or international ($n = 39$) events completed a self-administered and validated questionnaire on SS use. SS were classified into different levels (A-B-C-D) based on Australian Institute of Sport (AIS) criteria. The results indicated that 80.8% of the athletes were in favor of SS consumption in swimming. 86.9% had ever consumed SS, with no differences between sex ($p = 0.247$) or competitive levels ($p = 0.597$). The most consumed SS were caffeine (53.5%), sports drinks (52.5%), sports bars (51.5%) and vitamin C (43.4%). Only 0.98% of the swimmers consumed BJ. Supplements considered to be of the medical type were consumed more frequently by international swimmers ($p = 0.012$) and by women, with significant differences being found in the level-sex interaction ($p = 0.049$), possibly due to the inclusion of iron in the subgroup of medical supplements.

In study 2, we investigated whether an acute intake of BJ improved performance in a repeated maximal swimming effort (6x100m freestyle) with full 7-minute rests. 13 national level swimmers (6 women and 7 men) participated in this randomized, placebo-controlled, double-blind, balanced study. In two different trials, swimmers ingested either a 70 ml placebo dose (0.04 mmol NO_3^- ; PLA) or a 70 ml dose of Beet-It (6.4 mmol NO_3^- BJ) 3 hours before the test. No differences were observed between groups for either performance (total and split times and underwater swim at the start and turn), physiological (lactate concentration) and subjective variables (Effort Perception Scales (EPR) and Recovery Quality Scale (RQS)), or for repetition $\times$ condition interactions. However, a small possibly positive effect of BJ condition on total swim times ($p = 0.104$; MD = -0.99 s, 95%CI = -1.15 - 0.20) of the last repetition was detected.

Study 3 investigated whether an acute BJ intake improved performance in a maximal repeated swim test (2x6x100m freestyle) with incomplete recoveries of 40 sec between repetitions and 3 min between blocks. 18 competitive swimmers (9 women and 9 men) participated in this randomized, placebo-controlled, double-blind, balanced trial. The intake protocol was the same as in study 2. Overall, there were no significant differences between groups ($p>0.05$) for performance (total and split times), physiological (heart rate and lactate concentration) and subjective (RPE and TQR) variables. However, an interaction was observed in the BJ group between block $\times$ repetition $\times$ condition for total times ($F=3.103$; $p=0.046$; $ES=0.54$), indicating better time in the sixth repetition of block 2 compared to block 1 ($p=0.011$) for the BJ group.

In conclusion, swimmers indicated performance improvement as the main motivation for SS consumption. Differences in SS consumption according to competitive level were observed in international swimmers. Also, sex differences were observed in the consumption of certain SS. No clear effect of acute BJ intake on physiological and subjective variables was observed. However, there is a tendency for better perceived recovery between efforts and better fatigue tolerance when swimmers take this supplementation.

Key words: ergogenic aid, swimming, competition, interval exercise, nitrate, exercise tolerance.

Resumen

La natación es una de las disciplinas deportivas más populares, con pruebas comprendidas entre 50 y 1500 metros y esfuerzos aproximados entre 21 segundos y 15 minutos. Con el objetivo de optimizar su rendimiento físico, los nadadores/as hacen uso de estrategias nutricionales como los suplementos deportivos (SS), que se clasifican en función de la evidencia científica sobre su impacto en el rendimiento. Entre ellos, el Nitrato (NO_3^-) o Zumo de Remolacha (BJ) es uno de los más investigados sugiriendo que la suplementación crónica (3-15 días) y aguda (dosis única antes del ejercicio) podrían 1) reducir el coste de Oxígeno (O_2) del ejercicio submáximo y 2) mejorar la función contráctil del músculo esquelético y la potencia desarrollada en el sprint. Sin embargo, no existe consenso entre los diferentes estudios.

La presente tesis doctoral busca profundizar sobre el uso de SS en nadadores de competición y específicamente, sobre los efectos del BJ sobre el rendimiento. Se plantearon tres estudios: En el Estudio 1, se analizó el uso de SS en nadadores de competición (niveles nacional e internacional) y se describió el patrón de consumo según el sexo y el nivel competitivo. 102 nadadores (59 hombres y 43 mujeres) que competían en eventos nacionales ($n = 60$) y/o internacionales ($n = 39$), completaron un cuestionario autoadministrado y validado sobre el uso de SS. Los SS se clasificaron en diferentes niveles (A-B-C-D) en base al criterio del Instituto Australiano del Deporte (AIS). Los resultados indicaron que el 80,8% de los deportistas estaban a favor del consumo de SS en natación. El 86,9% había consumido SS alguna vez, sin que se observaran diferencias entre sexo ($p = 0,247$) ni niveles competitivos ($p = 0,597$). Los SS más consumidos fueron la cafeína (53,5%), las bebidas deportivas (52,5%), las barritas deportivas (51,5%) y la vitamina C (43,4%). Solo el 0,98% de los nadadores consumió BJ. Los suplementos considerados de tipo médico fueron consumidos con mayor frecuencia por los nadadores internacionales ($p = 0,012$) y por las mujeres, encontrándose diferencias significativas en la interacción nivel-sexo ($p = 0,049$) posiblemente, por la inclusión del hierro en el subgrupo de suplementos médicos.

En el estudio 2 se investigó si una ingesta aguda de BJ mejoraba el rendimiento en un esfuerzo máximo de nado repetido (6x100m estilo libre) con descansos completos de 7 minutos. 13 nadadores de nivel nacional (6 mujeres y 7 hombres) participaron en este estudio aleatorizado, controlado con placebo, doble ciego y equilibrado. En dos ensayos diferentes, los nadadores ingirieron una dosis de placebo de 70 ml (0,04 mmol de NO_3^- ; PLA) o una dosis de 70 ml de Beet-It (6,4 mmol de NO^- BJ) 3 horas antes de la prueba. No se observaron diferencias entre grupos ni para las variables de rendimiento (tiempos totales y parciales y nado subacuático en la salida y viraje), fisiológicas (concentración de

lactato) y subjetivas (Escala de Percepción del Esfuerzo (RPE) y Escala de Calidad de Recuperación (TQR)), ni en las interacciones de repetición $\times$ condición. Sin embargo, se detectó un pequeño efecto posiblemente positivo de la condición BJ en los tiempos totales de nado ($p = 0,104$; $DM = -,99$ s, $95\%CI = -1,15 - 0,20$) de la última repetición.

En el estudio 3 se investigó si una ingesta aguda de BJ mejoraba el rendimiento en una prueba máxima de nado repetido ($2 \times 6 \times 100$ m estilo libre) con recuperaciones incompletas de 40 segundos entre repeticiones y 3 minutos entre bloques. 18 nadadores de competición (9 mujeres y 9 hombres) participaron en este ensayo aleatorizado, controlado con placebo, doble ciego y equilibrado. El protocolo de ingesta fue igual que en el estudio 2. En general, no hubo diferencias significativas entre los grupos ($p > 0,05$) ni para las variables de rendimiento (tiempos totales y parciales), fisiológicas (frecuencia cardíaca y concentración de lactato) y subjetivas (RPE y TQR). Sin embargo, se observó una interacción en el grupo BJ entre bloque $\times$ repetición $\times$ condición para los tiempos totales ($F=3,103$; $p=0,046$; $ES=0,54$), indicando mejor tiempo en la sexta repetición del bloque 2 comparado con el bloque 1 ($p=0,011$) para el grupo BJ.

En conclusión, los nadadores señalaron la mejora del rendimiento como la principal motivación de consumo de SS. Se observaron diferencias en el consumo de SS según el nivel competitivo en nadadores internacionales. También, se observaron diferencias por sexo en el consumo de determinados SS. No se observó ningún efecto claro sobre la ingesta aguda de BJ en las variables fisiológicas y subjetivas. No obstante, existe una tendencia a una mejor recuperación percibida entre esfuerzos y una mejor tolerancia a la fatiga cuando los nadadores toman esta suplementación.

Palabras claves: ayuda ergogénica, natación, competición, ejercicio a intervalos, nitrato, tolerancia al ejercicio.

Índice de Contenido

Abstract.....	XI
Resumen	XIII
1. Introducción.....	1
1.1. Conceptualización de la natación.....	1
1.2. Características metabólicas de la natación de competición	2
1.3. Suplementos deportivos y ayudas ergogénicas para el rendimiento deportivo	4
1.3.1. Tipos de suplementación	6
1.3.2. Conceptualización del nitrato o zumo de remolacha y sus beneficios	9
1.3.3. Efectos de la suplementación con zumo de remolacha en el rendimiento físico.....	11
1.4. Suplementos deportivos y ayudas ergogénicas en natación.....	16
1.4.1. Efecto del BJ sobre el rendimiento en natación.....	20
1.5. Justificación de la presente tesis doctoral	22
2. Objetivos e hipótesis	23
2.1. Objetivos generales	23
2.2. Objetivos específicos.....	23
2.3. Hipótesis	23
3. Estudios.....	25
4. Material y métodos	27
4.1. Estudio 1	27
4.1.1. Participantes	27
4.1.2. Procedimiento	28
4.1.3. Análisis estadístico	29
4.2. Estudio 2	31
4.2.1. Participantes	31
4.2.2. Diseño experimental	31
4.2.3. Procedimiento	31
4.2.4. Procesamiento de los datos.....	35
4.2.5. Análisis estadístico	36
4.3. Estudio 3	37
4.3.1. Participantes	37

4.3.2. Diseño experimental	37
4.3.3. Procedimiento	37
4.3.4. Análisis estadístico	41
5. Artículos científicos	43
5.1. Estudio 1	43
5.2. Estudio 2	57
5.3. Estudio 3	67
6. Discusión	77
6.1. Características del consumo de SS en nadadores de competición	77
6.2. Tipo de consumo de SS en nadadores de competición	79
6.3. Efectos de la ingesta BJ sobre el rendimiento de nado	80
6.4. Efectos de la ingesta de BJ sobre las variables fisiológicas durante el rendimiento de nado	81
6.5. Efectos de la ingesta de BJ sobre las variables subjetivas durante el rendimiento de nado	82
6.6. Diferencias de los efectos del BJ en función del tipo de recuperación	83
6.7. Limitaciones de los estudios	84
7. Conclusiones	85
7.1. Conclusiones	85
7.2. Futuras líneas de investigación	86
8. Bibliografía	89
9. Anexos	105
9.1. Anexo 1- Formulario estudio del consumo de suplementos en natación	105
9.2. Anexo 2- Comité de ética	115
9.3. Anexo 3- Consentimiento informado	119

Índice de Figuras

Figura 1: Importancia del empleo de suplementos nutricionales en el contexto de estrategias integrales de alimentación en el ámbito de la salud y el rendimiento físico.....	6
Figura 2: Categoría A. Alimentos deportivos e ingredientes de suplementos que se incluyen en ella. Sistema de clasificación ABCD del marco del suplemento AIS.....	8
Figura 3: Metabolización del nitrato procedente del zumo de remolacha.....	11
Figura 4: Diagrama del proceso de intervención (Estudio 2)	34
Figura 5: Diagrama del proceso de intervención (Estudio 3)	39

Índice de Tablas

Tabla 1: Capacidad que posee cada vía metabólica de sintetizar ATP por unidad de tiempo.....	2
Tabla 2: Efectos de la suplementación con BJ	13
Tabla 3: Prevalencia de suplementos deportivos y ayudas ergogénicas en natación	18
Tabla 4: Efecto del BJ sobre el rendimiento en natación.....	21
Tabla 5: Estudios derivados de la Tesis Doctoral	26
Tabla 6: Características de la muestra divididos por sexo y nivel competitivo (internacional y nacional)	27

Índice de Imágenes

Imagen 1: Cámara de vídeo fija JVC.....	35
Imagen 2: Calibración de las imágenes con Kinovea.....	35
Imagen 3: Material para la medición del lactato.....	40
Imagen 4: Salto con contramovimiento (CMJ).....	40

Abreviaturas y acrónimos

ADP: Difosfato de Adenosina (por sus siglas en inglés, Adenosine Triphosphate)

AIS: Instituto Australiano del deporte (por sus siglas en inglés, Australian Institute of Sport)

ATP: Trifosfato de Adenosina (por sus siglas en inglés, Adenosine Triphosphate)

BJ: Zumo de Remolacha (por sus siglas en inglés Beetroot Juice)

CI: Intervalos de Confianza (por sus siglas en inglés, Confidence Intervals)

CMJ: Salto en Contramovimiento (por sus siglas en inglés, Counter Movement Jump)

COI: Comité Olímpico Internacional

DHEA: Dehidroepiandrosterona

ES: Error Estándar

FC: Frecuencia Cardiaca

FINA: Federación Internacional de Natación

G.H: Hormona del Crecimiento (por sus siglas en inglés, Growth Hormone)

G.HRP-1: Péptidos sintéticos liberadores de GH

G.HRP-2: Péptidos sintéticos liberadores de GH

g: Gramos

H+: Hidrogeno en exceso

HR: Frecuencia Cardiaca (por sus siglas en inglés, Heart Rate)

Hz: Hercios (por sus siglas en inglés, Hertz)

JCR: Journal Citation Reports

Kg: Kilogramos

km: Kilómetros

L: Litros

LA: Lactato

m: Metros

M: Media

MBI: Inferencia Basada en las Medias (por sus siglas en inglés, Mean Based Inference)

MD: Diferencia de Medias

min: Minutos

ml: Mililitros

mmol: Milimoles

n: Tamaño de la muestra

NO: Oxido Nítrico

NO₂⁻: Nitrito

NO₃⁻: Nitrato

O₂: Oxígeno

OR: Razón de probabilidades (por sus siglas en inglés, Odds Ratio),

PCr: Fosfocreatina

pH: Potencial de Hidrógeno

PLA: Placebo

RPE: Escala de Percepción de Esfuerzo (por sus siglas en inglés, Rate of Perceived Exertion)

s: Segundos

SARMS: Moduladores Selectivos de Andrógenos (por sus siglas en inglés, Selective Androgen Receptor Modulators)

SD: Desviación Estándar (por sus siglas en inglés, Standard Deviation)

SR: Frecuencia de brazada (por sus siglas en inglés, Stroke Rate)

SS: Suplementación Deportiva/Suplemento Deportivo (por sus siglas en inglés, Sport Supplement)

β-Alanina: Beta alanina

Tp: Tiempo Parcial

TQR: Escala de Calidad de Recuperación (por sus siglas en inglés, Total Quality Recovery)

TT: Tiempo Total

UD: Distancia subacuática (por sus siglas en inglés, Underwater Distance)

UT: Tiempo subacuática (por sus siglas en inglés, Underwater Time)

VO₂: Consumo de Oxígeno

vs: Versus

WADA: Agencia Mundial Antidopaje (por sus siglas en inglés, World Anti Doping Agency)

χ^2 : Chi cuadrado

1. Introducción

1.1. Conceptualización de la natación

La natación es uno de los deportes olímpicos más antiguos y ha estado presente en todos los Juegos Olímpicos desde Atenas 1896 aunque, para las mujeres, las pruebas de natación no se celebraron hasta la edición de Estocolmo 1912. La Federación Internacional de natación (FINA, fundada en 1908) ha sido durante más de un siglo el órgano de gobierno mundial de todas las disciplinas acuáticas. Entre ellas están la natación, el waterpolo, la natación artística, aguas abiertas, los saltos y los grandes saltos. Recientemente, el nombre de FINA ha sido modificado por World Aquatics. A nivel nacional, según la estadística de Deportes Federados en España de 2022 (*Estadística de deporte federado 2022*) la natación tenía 66.775 licencias federativas (35.972 eran hombres y 30.803 eran mujeres).

La disciplina de la natación se caracteriza por ser un deporte individual y de carácter cíclico. Su principal objetivo en el ámbito de la competición radica en completar una distancia predefinida, que varía entre 50 metros y 1500 metros en las pruebas oficiales de piscina, en el menor tiempo posible, haciendo uso de diferentes técnicas de nado: estilo libre, braza, espalda o mariposa. La duración de las pruebas oscila desde los 20 segundos hasta aproximadamente 16 minutos y en ellas los nadadores se enfrentan al desafío de superar las fuerzas de resistencia del medio acuático para acelerar su propio centro de masas en dirección de avance. Ello implica una serie de demandas fisiológicas y energéticas específicas de cada prueba (Pyne & Sharp, 2014).

El interés por el estudio de la natación desde un punto de vista científico se ha reflejado en la creciente cantidad de investigaciones para la mejora del rendimiento (Morais et al., 2021). Gran parte de la investigaciones en natación se han centrado en nadadores jóvenes y han abordado cuestiones tales como la evaluación de la antropometría (Geladas et al., 2005; Nevill et al., 2020), el desarrollo de la fuerza y del acondicionamiento (Amaro et al., 2017; Garrido et al., 2010), el análisis de la competición (da Silva et al., 2021; Moraes et al., 2012; Veiga et al., 2013), la eficiencia energética (Denadai et al., 2000; Toubekis et al., 2006), así como las interacciones entre estos aspectos (Barbosa et al., 2019). En realidad, determinar los factores clave para el rendimiento en natación es complejo, con disciplinas como biomecánica, fisiología y antropometría jugando un papel fundamental (Barbosa et al., 2010; Barbosa et al., 2013). La investigación actual aboga por un enfoque interdisciplinario para comprender las variables que influyen en el rendimiento en natación.

1.2. Características metabólicas de la natación de competición

Desde el punto de vista metabólico, el desempeño de cualquier esfuerzo físico requiere del uso de una mayor o menor cantidad de ATP (trifosfato de adenosina), cuya hidrólisis en la célula muscular permitirá que las cabezas de la miosina se unan a los filamentos de actina, formándose lo que conocemos como “puentes cruzados” que darán lugar a la contracción muscular necesaria para llevar a cabo cualquier movimiento y/o desplazamiento activo (López Chicharro & Fernández Vaquero, 2010). Las moléculas de ATP son sintetizadas a través de diferentes vías metabólicas que intervienen a la vez, predominando una sobre otra en función de las características del esfuerzo. Tradicionalmente, las vías metabólicas o sistemas energéticos se han clasificado como anaeróbicas o aeróbicas, en función de si requieren de oxígeno (O_2) o no para la síntesis de ATP. Sin embargo, la presencia o no de O_2 en la célula muscular no determina la predominancia de una vía metabólica sobre otra durante la realización de un esfuerzo físico, ya que varias investigaciones han demostrado que dicha predominancia se mantiene invariable en condiciones de restricción de O_2 en el músculo esquelético (Richardson et al., 1995). Por lo tanto, es necesario describir el concepto de potencia o tasa metabólica, que se define como la velocidad de producción de ATP que posee un determinado sistema energético; es decir, la producción de ATP por unidad de tiempo de cada vía metabólica (López Chicharro & Fernández Vaquero, 2010) (Tabla 1).

Tabla 1

Capacidad que posee cada vía metabólica de sintetizar ATP por unidad de tiempo.

			Tasa (mMol ATP/min)
ATP, PCr	————→	ADP, Cr	4,4
Glucógeno	————→	Lactato	2,35
Glucógeno	————→	CO₂	0,85-1,14
Glucógeno Hepático	————→	CO₂	0,37
Ácidos Grasos	————→	CO₂	0,4

Adaptada de, López Chicharro & Fernández Vaquero. Editorial Médica Panamericana; 2023. ATP: Adenosín Trifosfato; ADP: Adenosín Difosfato; CO₂: Dióxido de Carbono; Cr: Creatina; min: minutos; mMol: milimoles; PCr: Fosfocreatina.

La velocidad de síntesis de ATP es lo que determina la predominancia de un sistema energético sobre otro, para satisfacer con éxito las demandas del esfuerzo físico que se esté llevando a cabo. En este sentido, las pruebas que componen el programa olímpico en natación tienen unos tiempos de ejecución que van desde los 20 segundos hasta los 16 minutos. Por lo tanto, en este tipo de esfuerzos físicos observamos cómo las vías metabólicas más rápidas (sistema de los fosfágenos y glucólisis citosólica, tradicionalmente conocidas como “anaeróbicas”) son las que van a predominar.

En cuanto a la vía glucolítica, el piruvato resultante del catabolismo de la glucosa podría ser catalizado por la LDH (lactato-deshidrogenasa) para formar lactato, uno de los indicadores clásicos de fatiga aguda inducida por el ejercicio (Bestwick-Stevenson et al., 2022), aunque hoy en día se sabe que no es responsable de la misma (Westerblad et al., 2002). A través de la acción de los transportadores de lactato (MCTs), gran parte de este metabolito saldrá de las células musculares donde se ha originado y llegará al torrente sanguíneo. Por lo tanto, el análisis de las concentraciones de lactato en sangre es un indicador de la mayor o menor participación de la vía metabólica glucolítica durante la realización de un esfuerzo físico. Parece lógico pensar que en pruebas de natación como las llevadas a cabo en los estudios 2 y 3 que conforman la presente tesis doctoral (100 m a la máxima velocidad posible, con tiempos de ejecución de entre los 55-75 segundos aprox.), la vía metabólica glucolítica es la que predominaría. Así, la búsqueda de estrategias que permitan la optimización de dicha vía será uno de los objetivos de los planes de entrenamiento. En este sentido, la ejecución de series de alta intensidad con diferentes tipos de recuperación es uno de los métodos más empleados para tal fin (Hellard et al., 2019).

En relación con la importancia de la vía glucolítica durante el esfuerzo físico, es relevante considerar la producción endógena de glucosa en reposo. Esta suele darse a un ritmo de entre 1,8-2,1 mg/kg/min en hombres sanos, en función de la cantidad de carbohidratos presentes en la dieta, con ratios de gluconeogénesis de ~1,0 mg/kg/min (Bisschop et al., 2000). Estos valores son muy similares a los que se han reportado en hombres entrenados en resistencia aeróbica, con niveles de producción endógena de glucosa de 1,6-2,0 mg/kg/min y una ratio de gluconeogénesis de entre 1,1-1,2 mg/kg/min, dependiendo también de la cantidad de carbohidratos presentes en la dieta (Webster et al., 2016). Por lo tanto, se puede observar como la gluconeogénesis, que es el mecanismo endógeno que tiene nuestro organismo para la producción de glucosa a partir de sustratos no glucídicos (i.e., lactato, glicerol y aminoácidos), es relativamente estable en reposo. Durante el esfuerzo físico, las tasas de gluconeogénesis pueden alcanzar hasta 2,5 mg/kg/min cuando se incluyen todos los sustratos precursores de glucosa (Webster et al., 2016) Sin embargo, si nos centramos solo en la gluconeogénesis derivada de

metabolitos que provienen de la glucólisis, esta tasa se sitúa entre 1,7-1,9 mg/kg/min (Emhoff et al., 2013). Sorprendentemente, los niveles de gluconeogénesis durante el ejercicio no parecen verse afectados por el tipo de dieta (Webster et al., 2016), posiblemente debido a la redistribución del flujo sanguíneo durante la actividad física, lo que limita la actividad hepática, siendo el hígado un órgano clave en la producción de glucosa.

Estos datos corroboran que la duración de la recuperación es una de las variables que podría determinar en mayor medida la predominancia de una vía metabólica sobre otra durante la realización de esfuerzos repetidos. Así, recuperaciones de varios minutos tras esfuerzos de alta intensidad, como los que se realizan en pruebas de natación a la máxima velocidad de nado posible y cuya duración está en torno a 30 segundos y 1 min, podrían considerarse como “completas” si permiten que los esfuerzos sucesivos se desarrollen a un nivel de rendimiento igual o similar al realizado al principio de la sesión de entrenamiento. Sin embargo, recuperaciones de menor duración (inferiores a 1 minuto) podrían considerarse como “incompletas” en la sucesión de esfuerzos repetidos, por lo que las características metabólicas en este caso diferirán en gran medida a lo que ocurriría si se realizara un único episodio de esfuerzo físico.

1.3. Suplementos deportivos y ayudas ergogénicas para el rendimiento deportivo

El término ergogenia significa producción de trabajo (Luna, 2012). Si la manipulación de una sustancia se hace para mejorar el rendimiento a través de la producción de energía, ésta se denomina ergogénica (Sánchez Oliver, 2012). Por esto, la búsqueda por aportar la más mínima mejora en el rendimiento del deportista ha provocado un interés por el uso de ayudas ergogénicas, entre las que destaca el uso de SS. Actualmente, no existe una definición única de "suplemento deportivo", dado que su conceptualización ha cambiado a lo largo del tiempo. No obstante, la declaración de consenso vigente del Comité Olímpico Internacional (COI) establece que un SS se configura como un alimento, componente de un alimento, nutriente o compuesto no alimenticio, que se administra de manera consciente en adición a la dieta convencionalmente ingerida, con la finalidad de optimizar tanto la salud como el rendimiento deportivo (Maughan et al., 2018a).

Son varios los propósitos de la ingesta de SS además de buscar la mejora en el rendimiento deportivo. Por ejemplo, es común que los deportistas ingieran SS para mejorar su recuperación tras un esfuerzo o para buscar una menor fatiga durante el ejercicio (Knapik et al., 2016; Sánchez Oliver, 2012). Sin embargo, como indican algunos

estudios, la eficacia de las sustancias ergogénicas no siempre son claras para todos los deportistas debido a las variaciones en la edad (Baltazar-Martins et al., 2019; Shannon et al., 2022; Zamani et al., 2020), el sexo (Baltazar-Martins et al., 2019; Senefeld et al., 2020; Shannon et al., 2022; Tan et al., 2022), el nivel competitivo (Baltazar-Martins et al., 2019; Knapik et al., 2016; Maughan et al., 2018b; Shannon et al., 2022) y la disciplina deportiva en particular (Baltazar-Martins et al., 2019; Senefeld et al., 2020; Shannon et al., 2022; Tan et al., 2022; Zamani et al., 2020).

El rango de consumo de SS en el deporte es muy amplio y abarca entre el 30 y el 95% de los deportistas, en función del sexo, el nivel de rendimiento o el tipo de disciplina deportiva (Mata et al., 2021; Sánchez-Oliver et al., 2019, 2020). En lo que respecta al sexo, tanto hombres como mujeres deportistas presentan una alta frecuencia de consumo de suplementos deportivos, aunque los hombres tienden a consumir SS en una proporción superior a las mujeres como, por ejemplo, 42% frente al 20% (Braun et al., 2009); 65,3% frente al 56,5% (Aguilar-Navarro et al., 2020) o 54,8% frente a 45,5% (Caraballo et al., 2020). La prevalencia del consumo de SS también varía en función de la disciplina deportiva y sus respectivas demandas fisiológicas y físicas, como por ejemplo 84,3% en disciplinas deportivas de resistencia frente a 44,2% deportes de equipo (Aguilar-Navarro et al., 2020), siendo los deportes individuales quienes muestran una mayor tendencia al consumo en comparación con los deportes de equipo (81% frente a 58%) (Baltazar-Martins et al., 2019). Respecto a la prevalencia en la utilización de SS en función del nivel competitivo, se ha observado una mayor prevalencia en atletas de élite en comparación con aquellos de niveles deportivos inferiores, como el 70% frente a 46,8% de los regatistas de élite de Caraballo et al., (2020) o el 60,7% frente al 39,3% de los deportistas de élite de Aguilar- Navarro (Aguilar-Navarro et al., 2020).

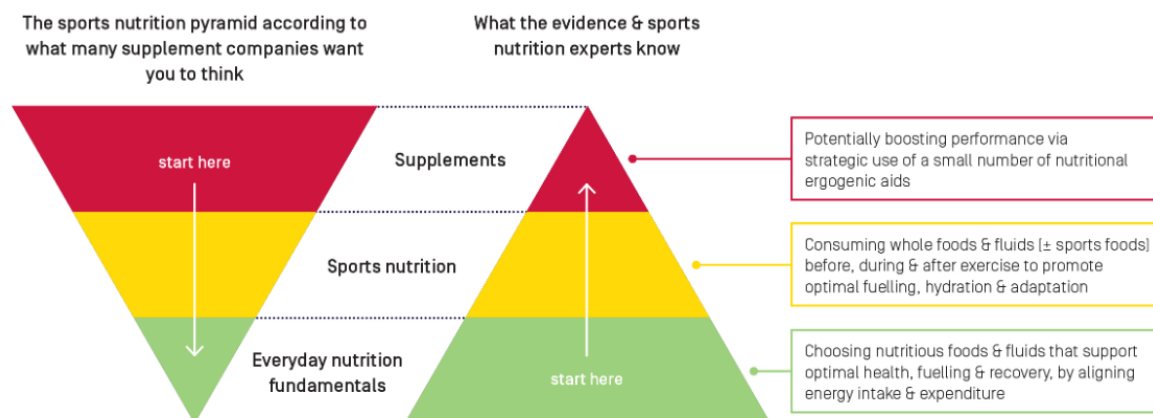
La lista de ayudas ergogénicas es muy amplia pero realmente muy pocas han demostrado ser efectivas para aumentar el rendimiento (Maughan, et al., 2018a; Peeling et al., 2018). Especialistas en la materia advierten que, previo a la suplementación o promoción de cualquier ayuda ergogénica, es imperativo que entrenadores, médicos deportivos, nutricionistas, dietistas y deportistas adquieran un conocimiento exhaustivo acerca de los mecanismos de acción de dichas sustancias, sus posibles efectos adversos, las dosis empleadas, así como los beneficios que son percibidos por quienes hacen uso de estas (Kerksick et al., 2018; Maughan et al., 2018a). La decisión de utilizar una ayuda ergogénica debe tener en cuenta tres aspectos: a) ¿es segura? es decir, la seguridad del procedimiento ergogénico es más importante que el beneficio derivado; b) ¿es legal?, utilizando criterios de efectividad y seguridad y c) ¿es efectiva? es decir, considerar las propiedades ergogénica y ergolíticas de las sustancias (Kerksick et al., 2018; Maughan et al., 2018a).

1.3.1. Tipos de suplementación

Recientemente el Australian Institute of Sport (AIS) ha desarrollado un Programa de Suplementos para Deportistas que habilita a los atletas a enfocarse en la utilización adecuada y racional de suplementos y alimentos deportivos dentro de sus planes nutricionales personalizados. Este programa garantiza que los suplementos y alimentos destinados al deporte se empleen de manera apropiada y eficaz con el fin de obtener los máximos beneficios en el rendimiento del deportista (Figura 1).

Figura 1

Importancia del empleo de suplementos nutricionales en el contexto de estrategias integrales de alimentación en el ámbito de la salud y el rendimiento físico



(<https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements/athlete-resources>).

El AIS ha realizado un sistema de clasificación de suplementos y alimentos deportivos, sobre la base de un análisis de riesgo-beneficio de cada producto lleva a cabo por un grupo de científicos expertos en medicina y nutrición deportiva (AIS, 2012). Dicha clasificación, se hizo en función de la evidencia científica y otras consideraciones prácticas que determinan si un producto es seguro, legal y efectivo para mejorar el rendimiento deportivo (AIS, 2021). Este sistema divide a los SS en cuatro grupos (A, B, C y D):

- El **grupo A** (Figura 2) son los SS con mayor evidencia científica en cuanto a sus efectos ergogénicos. Estos suplementos han sido sometidos a una evaluación científica y han demostrado su eficacia cuando se utilizan siguiendo un protocolo específico en el contexto de una disciplina deportiva particular. Los suplementos del grupo A se clasifican en alimento deportivos (p.ej., bebidas energéticas), suplementos médicos (p.ej., hierro) y suplementos de rendimiento deportivo (p.ej., nitrato dietético/ zumo de remolacha).

- En el **grupo B** están los SS que carecen aún de un respaldo científico emergente, que merece más investigación en lo que respecta a sus impactos sobre el rendimiento deportivo. Solamente disponen de información preliminar que insinúa posibles ventajas en el rendimiento o son de reciente introducción en el ámbito científico y no han sido objeto de un escrutinio adecuado. Los suplementos del grupo B se clasifican en polifenoles alimentarios (p.ej., cerezas), antioxidantes (p.ej., vitamina C), saborizantes (p.ej., quinina) y otros (p.ej., carnitina).
- En el **grupo C** se encuentran los SS cuya evidencia científica no respaldada el beneficio entre los deportistas o no se ha realizado ninguna investigación. En este caso, el AIS no recomienda su uso por parte de deportistas dentro de los programas de suplementación (p.ej., magnesio).
- Finalmente, en el **grupo D** están las sustancias prohibidas por la Agencia Mundial Antidopaje (WADA) con alto riesgo de contaminación y que podrían dar positivo en una prueba de dopaje. Este grupo se subdivide en estimulantes (p.ej., efedrina), potenciadores hormonales (p.ej., dehidroepiandrosterona (DHEA)), liberadores de hormona del crecimiento (GH) y péptidos (p.ej., GHRP-1 y GHRP-2), agonistas beta-2 (p.ej., higenamina), SARMS (p.ej., andarine), moduladores metabólicos (p.ej., cardarine) y otros (p.ej., colostrum).

Figura 2

Categoría A. Alimentos deportivos e ingredientes de suplementos que se incluyen en ella. Sistema de clasificación ABCD del marco del suplemento AIS.

Sólida evidencia científica para su uso en situaciones específicas en el deporte utilizando protocolos basados en la evidencia.			
GRUPO A	Alimentos para deportistas	Suplementos médicos	Suplementos de rendimiento
	Bebidas deportivas	Hierro	Cafeína
	Geles deportivos	Calcio	β-Alanina
	Confitería deportiva	Multivitamínico	Nitrato dietético / Zumo de Remolacha
	Bares deportivos	Probióticos	Bicarbonato sódico
	Suplemento electrolítico	Vitamina D	Creatina
	Suplemento proteínico	Zinc	Glicerol
	Suplemento de macronutrientes		
	mixtos (barrita, polvo, comida líquida)		

Adaptada de <https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements/athlete-resources>

Específicamente, para aquellos deportes caracterizados por involucrar mayormente altas intensidades durante una duración más o menos prolongada, se destacan diversas ayudas ergogénicas del grupo A entre las que destacan:

- La **cafeína**, se absorbe y transporta rápidamente a todos los tejidos y órganos del cuerpo, donde ejerce una gran variedad de efectos. Uno de estos efectos radica en minimizar los efectos de la fatiga y aumentar la activación neuromuscular al antagonizar los receptores de adenosina a nivel cerebral (Muñoz et al., 2020).
- Los **nitratos** (por ejemplo, el zumo de remolacha), se puede utilizar para mejorar la disponibilidad en el organismo óxido nítrico (NO). El NO es importante para una variedad de funciones que son esenciales para la vida e importantes para el rendimiento del ejercicio, incluida la regulación de la presión arterial y el flujo sanguíneo, la respiración mitocondrial, la contracción muscular y la función inmune además de favorecer un mayor reclutamiento de fibras musculares tipo II (AIS, 2021.; Jones et al., 2018, 2021; Senefeld et al., 2020).
- La **creatina**, es un nutriente no esencial que se sintetiza endógenamente (aproximadamente 1 g/d) y también se ingiere a través de la dieta (aproximadamente 1 g/d) (AIS, 2021.). La creatina aumenta la capacidad para llevar a cabo acciones de alta

intensidad mediante un incremento en los depósitos de fosfocreatina a nivel intramuscular (Lanhers et al., 2017; Roschel et al., 2021).

- La **beta-Alanina**, que conduce a un aumento en el contenido de carnosina, cuyo aumento a nivel muscular mejora el rendimiento de resistencia de alta intensidad tanto en individuos entrenados como no entrenados en una variedad de pruebas de disciplinas deportivas (Harris et al., 2006).
- El **Bicarbonato de sodio** es un anión extracelular producido endógenamente y un componente integral del sistema primario de amortiguación del pH del cuerpo. Ayudaría a tamponar la producción de iones de hidrógeno (H⁺) derivada de la glucólisis, contribuyendo a minimizar la acidez metabólica en esfuerzos donde predomine este sistema energético (Carr et al., 2011). Se cree que el bicarbonato adicional atenúa el inevitable aumento de H⁺ intramuscular, sinónimo de ejercicio de alta intensidad, aunque los mecanismos fisiológicos directamente responsables del aumento del rendimiento en humanos no están claros (Siegler et al., 2016).
- El **Glicerol**, que puede utilizarse para facilitar una mejor retención de los líquidos ingeridos, lo que puede ser beneficioso para los atletas en deportes donde el estado de hidratación puede verse comprometido (McCubbin et al., 2020).

En cualquier caso, incluso en los SS del grupo A los efectos ergogénicos podrían estar sujetos al individuo, a la modalidad deportiva o al contexto (Maughan et al., 2018a; Sánchez Oliver et al., 2011). Cabe destacar la falta de investigaciones científicas que hayan evaluado su eficacia específicamente en el contexto competitivo en natación. Esto, conlleva a una desactualizada información sobre cuáles son los suplementos deportivos más consumidos por los nadadores de elite y la prevalencia de su uso.

1.3.2. Conceptualización del nitrato o zumo de remolacha y sus beneficios

El óxido nítrico (NO) es un gas relativamente estable con la capacidad de ser soluble en agua y en lípidos y que se sintetiza en varios lugares del organismo, como las células endoteliales. La síntesis endógena y la relevancia biológica del NO se descubrieron en una serie de estudios realizados en la década de 1980, lo que llevó a que tres investigadores farmacólogos estadounidenses, Robert F. Furchgott (Universidad Estatal de Nueva York), Louis J. Ignarro (Universidad de California), y Ferid Murad (Universidad de Texas), compartieran el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1998.

Los primeros efectos conocidos del NO se han observado en la vascularización y décadas de investigación han confirmado su papel esencial en la vasodilatación,

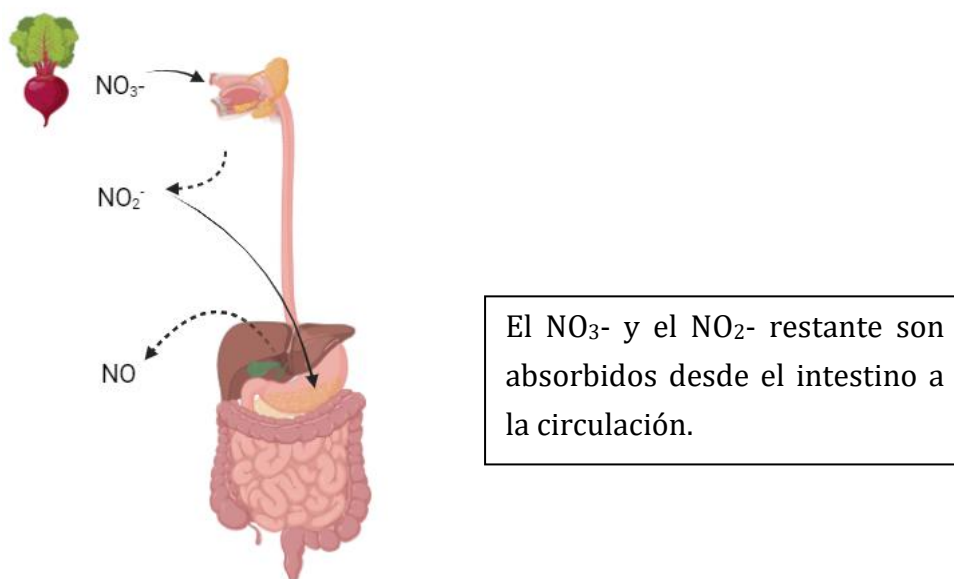
controlando la presión arterial y el flujo sanguíneo tisular, así como en la coagulación sanguínea mediante la activación de plaquetas (Jin & Loscalzo, 2010). También se han detectado que, los efectos vasodilatadores de la ingesta de NO_3^- podrían no limitarse únicamente a nivel vascular, sino que también podrían representar una mejora en la función respiratoria (Lundberg et al., 2008). Sin embargo, el NO tiene impactos fisiológicos que van más allá de la vascularización, incluyendo procesos como la neurotransmisión (Philippu, 2016), la defensa inmunitaria (Bogdan, 2001), la función mitocondrial (Poderoso et al., 2019), la función contráctil del músculo esquelético ya que podrá favorecer los procesos de intercambio de gases en las fibras musculares (Domínguez et al., 2016) y la mejora en la funcionalidad de las fibras tipo II (Wylie et al., 2013). Teniendo en cuenta que la vida media del NO es extremadamente corta en los tejidos biológicos, inferior a unos 6 segundos (Kelm, 1999), es crucial que se produzca continuamente en aquellos tejidos donde se requiere su acción.

Se sabe que el nitrato (NO_3^-) puede convertirse en nitrito (NO_2^-) y luego en NO en determinadas condiciones fisiológicas, lo cual es una vía "complementaria" de generación de NO que no depende de la presencia de oxígeno (Cosby et al., 2003; Modin et al., 2001). La generación continua de NO es esencial para el mantenimiento de la función celular y la salud general del organismo (Jones et al., 2021), por lo que este hallazgo ha aumentado el interés de los investigadores sobre cómo aumentar la disponibilidad de NO a través de la alimentación. El "sustrato" para la vía del NO_3^- (nitrato) $\rightarrow$ NO_2^- (nitrito) $\rightarrow$ NO (óxido nítrico) incluye no sólo el nitrato generado a partir de la oxidación endógena del NO, sino también el nitrato inorgánico exógeno procedente de la dieta, en particular el derivado de la ingestión de verduras de hoja verde como la rúcula, la col rizada, la lechuga y las espinacas, así como algunas hortalizas como la remolacha (Hord et al., 2009). El zumo de remolacha (BJ, del inglés *beetroot juice*) se emplea como suplemento debido a su capacidad para actuar como precursor del óxido nítrico (Jones, 2014). Las elevadas cantidades de NO_3^- presentes en el BJ podrían incrementar los niveles de NO en el organismo (Domínguez et al., 2018).

Después de ser ingerido, el NO_3^- proveniente de los alimentos es absorbido hacia el torrente sanguíneo. Aproximadamente el 25% de este NO_3^- circulante es absorbido por las glándulas salivales a través de transportadores activos, como la sialina, y se acumula en la saliva (Govoni et al., 2008). En la cavidad bucal, las bacterias anaeróbicas residentes reducen parte del NO_3^- salival a NO_2^- (Duncan et al., 1995; Doel et al., 2005). Cuando este NO_2^- se ingiere posteriormente, una fracción se convierte en NO en el ambiente ácido del estómago. Sin embargo, parte del NO_2^- restante ingresa a la circulación sistémica y se distribuye en la sangre, donde se almacena en varios tejidos. Allí, puede sufrir una reducción de un electrón para generar NO (Figura 3).

Figura 3

Metabolización del nitrato procedente del zumo de remolacha.



Como se mencionaba anteriormente, la remolacha contiene una alta concentración de NO_3^- (hasta 11,4 g / L) por lo que el uso del BJ ha aumentado considerablemente a lo largo de los años (Senefeld et al., 2020; Tan et al., 2022). Este SS ha generado un notable interés en la investigación destinada a establecer evidencia sólida sobre los beneficios del rendimiento deportivo mediante la suplementación con nitratos en la dieta. En el ámbito de la fisiología del ejercicio, se cree que los suplementos con BJ pueden ser una ayuda ergogénica por aumentar la síntesis de NO (AIS, 2021).

1.3.3. Efectos de la suplementación con zumo de remolacha en el rendimiento físico

La tabla 2 resume las principales evidencias sobre los efectos en el rendimiento físico de la suplementación con BJ. La revisión sistemática de 2018 por Domínguez et al. (2018) sugirió un posible efecto ergogénico asociado a la suplementación aguda con BJ en esfuerzos de alta intensidad con un metabolismo predominantemente oxidativo. Sin embargo, los resultados de los estudios son contradictorio y, aunque algunos estudios reportan mejoras (Aucouturier et al., 2015; Kramer et al., 2016; Rimer et al., 2016), otros no muestran ningún beneficio (Berlanga et al., 2023; Clifford et al., 2016; Muggeridge et al., 2013; Pawlak-Chaouch et al., 2019) sobre el rendimiento físico. El desarrollo de la fatiga durante el ejercicio intermitente de alta intensidad está vinculado, en parte, a la disminución de la concentración de fosfocreatina muscular [PCr] (Fulford et al., 2013), mientras que la recuperación del rendimiento del ejercicio intermitente está vinculada a

la resíntesis de PCr muscular (Mendez-Villanueva et al., 2012). Se ha demostrado que la suplementación con NO_3^- disminuye el coste de la PCr en la producción de fuerza durante el ejercicio intermitente de alta intensidad (Fulford et al., 2013) lo que podría retrasar la consecución de una [PCr] muscular críticamente baja durante el ejercicio intermitente (Chidnok et al., 2013).

También se ha informado de que la suplementación con NO_3^- mejora el manejo del calcio y aumenta la tasa de desarrollo de la fuerza en las fibras musculares de tipo II (Hernandez et al., 2012), aumenta la producción de fuerza (Coggan et al., 2015), atenúa el desarrollo de la fatiga a altas frecuencias de contracción muscular (Bailey et al., 2015) y aumenta la contribución proporcional del músculo de tipo II a la producción de fuerza (Breese et al., 2013). Además, dado que la recuperación de la PCr muscular y la producción de fuerza durante el ejercicio intermitente es incompleta cuando se aplican duraciones de recuperación más cortas (Bogdanis et al., 1995), es posible que la suplementación con NO_3^- sea más eficaz durante el ejercicio de alta intensidad en ejercicio intermitente cuando la duración de la recuperación entre los intervalos de trabajo es relativamente corta.

Además de la incertidumbre sobre si la suplementación con BJ mejora o no el rendimiento en esfuerzos de alta intensidad, tampoco está claro el protocolo óptimo de suplementación (crónica o aguda). Pocos estudios han demostrado un efecto ergogénico después de la ingesta aguda de BJ, siendo necesarias cantidades superiores a 11,2mmol (Rimer et al., 2016) para observar los efectos sobre el rendimiento en una prueba de intensidad máxima de corta duración en cicloergómetro. La suplementación mejoró la cadencia de pedaleo y, por tanto, la potencia generada. Aucouturier et al. (2015) administraron el suplemento ($\sim 10,9$ mmol de NO_3^-) a un grupo de atletas de recreo 180 min antes de realizar series hasta el agotamiento consistentes en 15 s de pedaleo al 170% del $\text{VO}_2\text{máx}$ seguido de periodos de descanso de 30 s. Los autores informaron de que el suplemento de remolacha dio lugar a mejoras cercanas al 20% en el número de repeticiones realizadas y el trabajo total completado en la sesión.

En cuanto al protocolo de suplementación crónica, la duración de la ingesta varía entre 5 y 7 días y se observan mejoras en el ejercicio intermitente (Wylie et al., 2013), mejoras en la potencia máxima durante el test de Wingate (Kramer et al., 2016) e incluso mejoras en el tiempo de reacción y rendimiento de sprint sin cambios en la respuesta cognitiva (Thompson et al., 2015).

Tabla 2

Efectos de la suplementación con BJ sobre el rendimiento físico

Autor	Año	Tipo de muestra	Tipo de esfuerzo	Dosis	Beneficios en el rendimiento	Mecanismos fisiológicos
Breese et al.	2013	9 sujetos físicamente activos	Intensidad severa y pesada (ciclismo)	140 ml/día, que contenía 8 mmol de NO ₃ ⁻ durante 6 días	Mejora en la cinética de absorción de O ₂ (VO ₂). Mayor tolerancia al ejercicio de alta intensidad. Incremento en la concentración de desoxihemoglobina muscular ([HHb]) en ejercicio de intensidad severa	↑ de NO ₂ ⁻ en plasma, mejor extracción de O ₂ muscular y mejor distribución del flujo sanguíneo
Fulford et al.	2013	8 hombres físicamente activos	Fuerza máxima voluntaria isométrica (MVC)	0,25 l de BJ dos veces al día (mañana y noche) durante 15 días. El día de prueba, todo el suplemento diario de 0,5 l se tomó 2,5 h antes del ejercicio	No hubo diferencias, pero hubo reducción del costo de PCr por unidad de fuerza generada	↑ de NO, mejoró en la eficiencia muscular. También, pudo mejorar la vasodilatación y el flujo sanguíneo. No se observaron cambios en la tasa de recuperación de PCr
Muggeridge et al.	2013	8 Kayakistas entrenados	15 minutos de remo al 60%. Cinco sprints de 10". Prueba	70 ml de BJ o PLA 3 horas antes del ejercicio	No hubo diferencias, pero hubo reducción en el VO ₂ durante ejercicio submáximo	↑ de NO, mejorando la vasodilatación y el flujo sanguíneo. El VO ₂ durante el ejercicio submáximo fue menor en la prueba BJ que en la prueba PLA

contrarreloj de 1 km.						
Aucouturier et al.	2015	Atletas de resistencia	15" pedaleo al 170% del VO ₂ máx con descanso de 30"	10,9 mmol de NO	Reducción del coste de oxígeno durante ejercicio submáximo	↑ de NO, mejorando la eficiencia energética
Bailey et al.	2015	7 hombres activos	Ciclismo a intensidades severas con cadencias de pedaleo de 35 rpm y 115 rpm	8,4 mmol de nitrato (NO ₃ ⁻) durante 9 días	Mejor oxigenación muscular. Cinética de absorción de O ₂ más rápida. Mayor tolerancia al ejercicio de alta intensidad a 115 rpm. No hubo a 35rpm	↑ en la concentración de oxihemoglobina muscular (O ₂ Hb) en reposo y durante el ejercicio. Mejora en la entrega de O ₂ a la microvasculatura muscular. ↓ en la diferencia entre la entrega de O ₂ y la utilización de O ₂ en el músculo. Adaptación más rápida del metabolismo oxidativo. Mejora en la distribución del flujo sanguíneo hacia las fibras tipo II
Coggan et al.	2015	12 hombres y 5 mujeres sanos	Velocidad y Potencia del Extensor de la Rodilla y Prueba de fatiga	140 mL de BJ 2 horas antes	Aumentó la producción de NO en el cuerpo y mejoró la velocidad y potencia muscular	La falta de mejora en la prueba de fatiga sugiere que el efecto del nitrato es más pronunciado en la velocidad y potencia máximas que en la resistencia muscular sostenida
Thompson et al.	2015	16 jugadores de deportes de equipo (hockey, fútbol y rugby)	Dos "mitades" de 40' de bloques repetidos de 2' consistentes en un sprint de 6", 100" de recuperación activa y 20" de descanso	140 mL diarios de BR (12,8 mmol de NO ₃ ⁻) o PL (0,08 mmol de NO ₃ ⁻) durante 7 días	Mayor trabajo total durante los Sprint. Mejora en el tiempo de reacción en la segunda mitad del ejercicio prolongado. No hubo cambios significativos en las respuestas cognitivas, lo que sugiere que la mejora fue en la velocidad de procesamiento	↑significativo de NO ₂ ⁻ y NO ₃ ⁻ en plasma, sugiriendo una mayor biodisponibilidad de NO. ↑ en la producción de fuerza contráctil en fibras tipo II. Mejor Flujo Sanguíneo Cerebral

Clifford et al.	2016	20 jugadores de deportes de equipo	Sprints repetidos	(2 × 250 mL) durante 3 días	No se detectaron diferencias en el sprint medio o el índice de fatiga. El BJ redujo la disminución en CMJ y RI, pero no tuvo efecto en el rendimiento de sprint o en el estrés oxidativo	Los efectos del BJ en la recuperación podrían estar relacionados con sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. No se observaron cambios en los marcadores bioquímicos de estrés oxidativo
Kramer	2016	12 Atletas de CrossFit	Wingate de 30", remo de 2 km y CrossFit Grace (30 repeticiones de clean-and-jerk con 61,37 kg)	8 mmol·día ⁻¹ de nitrato de potasio (NO) o un placebo (PL) durante 6 días	Mejora en la potencia máxima durante el test de Wingate. No en remo de 2 km.	Mejoras en la eficiencia de la contracción muscular y el manejo del calcio. Posibles cambios estructurales en el manejo del calcio y el metabolismo muscular. No Mejoras en la Resistencia o Fuerza
Rimer et al.	2016	13 Ciclistas	Carga inercial de 3"-4" Prueba isocinética de 30"	70 mL de BJ	Mejora en la síntesis de ATP y reducción de la fatiga	↑ de NO, mejorando la eficiencia muscular
Pawlak-Chaouch et al.	2019	9 atletas de resistencia de élite	Bouts de ciclismo de 15" al 170% con recuperación pasiva 30"	5.2 mmol de BJ durante 3 días	No se encontraron beneficios en el rendimiento	No se identificaron cambios fisiológicos significativos relacionados con el rendimiento durante el ejercicio supramaximal intermitente
Berlanga et al.	2023	10 Escaladores amateur	Fuerza de agarre isométrica, CMJ y SJ, resistencia de dominadas y de media flexión isométrica (half crimp)	70 mL de BJ (6,4 mmol de NO ₃ ⁻) o placebo	No se encontraron para ninguna variable	↑ de NO puede mejorar la vasodilatación y el flujo sanguíneo. No efectos ergogénicos en las pruebas de rendimiento neuromuscular

1.4. Suplementos deportivos y ayudas ergogénicas en natación

Independientemente de los factores antropométricos, biomecánicos, técnico-tácticos y de las demandas particulares del entrenamiento según las características de la prueba (velocidad, medio fondo o larga distancia), los programas de entrenamiento destinados a nadadores de élite generalmente implican una considerable cantidad de volúmenes de entrenamiento incluyendo volúmenes de alta intensidad (Nugent et al., 2017; Hellard et al., 2019). Las características de las competiciones de natación reflejan, de alguna manera, las particularidades de los programas de entrenamiento de élite. Como resultado de estas características, es común que nadadores de competición recurran a apoyos nutricionales y, en concreto, a los Suplementos Deportivos (SS, del inglés *Sports Supplements*) para obtener ayudas que potencialmente contribuyan a su éxito (Maughan et al., 2018b).

En la tabla 3 se resumen los estudios que han analizado hasta el momento la prevalencia del consumo de SS en nadadores. Los primeros estudios que nos reportan información sobre el consumo de SS entre los nadadores son datos recogidos en los controles de dopaje de los Juegos Olímpicos de Sydney 2000 indicando que la natación es uno de los deportes con mayor prevalencia de uso de medicamentos. Las tendencias del uso observadas en esta encuesta, en el 78% de los 2.758 deportistas analizados, muestra que hacían un uso excesivo de suplementos, así como a un peligroso uso de fármacos como los antiinflamatorios no esteroideos (Corrigan & Kazlauskas, 2003). En otro estudio, Baylis et al. (2001) examinaron específicamente las prácticas de suplementación de los nadadores de alto nivel e informaron que el 99% de los nadadores emplearon suplementos dietéticos y el 94% utilizó al menos un suplemento dietético no alimentario (Baylis et al., 2001). Más tarde, en 2016, otro estudio informó que el 97 % de los nadadores de élite afirmaron haber tomado suplementos o alimentos deportivos durante un período de entrenamiento de 12 meses (Shaw et al., 2016). Shaw et al. (2016) también constataron un aumento en el uso de suplementos ergogénicos de categoría A por parte de nadadores de élite australianos entre finales de los años 90 ($2,8 \pm 1,7$ suplementos consumidos por nadador) y el año 2009 ($4,0 \pm 1,7$).

Recientemente, en un estudio realizado por Newbury et al., (2023), encuestaron a 44 nadadores pertenecientes a un club de alto rendimiento. Fueron divididos en tres etapas de talento diferentes: desarrollo (11-14 años, $n = 20$), grupo de edad (13-17 años, $n = 13$) y nivel nacional (≥ 16 años, $n = 11$). El 98% de los nadadores encuestados admitieron usar al menos un suplemento, siendo la mejora del rendimiento (34%) y la recuperación (19%) las razones principales. Pero, además, en este estudio se observó que los nadadores de nivel nacional consumían más suplementos que los otros grupos,

principalmente debido a una mayor ingesta de ayudas ergogénicas (Newbury et al., 2023). En el caso de la modalidad de natación de aguas abiertas, se ha analizado el patrón de consumo de SS y se observó que el 79,5% de los participantes declararon haber consumido SS, con un mayor consumo en deportistas de nivel nacional (88,1%) que los nadadores de nivel regional (70,8%). Además, se observó que la mayoría de los suplementos consumidos pertenecían a la categoría A, siendo la cafeína con un 39,4% y la creatina un 12,9% los más consumidos (Jiménez-Alfageme et al., 2022).

Tabla 3
Prevalencia de suplementos deportivos y ayudas ergogénicas en natación

Autor	Año	Nivel de los deportistas	Número de nadadores	% prevalencia de los nadadores	Tipos de SS
Baylis et al.,	2001	Nivel nacional e internacional	77 nadadores	99%	Suplementos no alimenticios: 94%. Suplementos vitamínicos o minerales: 94%. Preparados de hierbas: 61%. creatina: 31%. Bebida deportiva u otro alimento energético: 87%
Corrigan et al.,	2003	Participantes Juegos Olímpicos de Sydney 2000	No se especifica	78,6% de deportistas. No se especifica el % de nadadores	Vitaminas: 1408 atletas, 51% Minerales: 583 atletas, 21% Aminoácidos: 345 atletas, 12,5% Otros SS: 620 atletas, 22,5% NSAIDs: 706 atletas, 25,6% Medicamentos para el Asma: 144 atletas, 5,2% Anticonceptivos orales: 240 atletas, 8,7% Medicina alternativa: 294 atletas, 10,7%
Shaw et al., (a)	2016	Nadadores Australia que participaron en campeonatos mundiales de la FINA	1998: 34 nadadores (18 hombres, 15 mujeres). 2009: 39 nadadores (19 hombres, 20 mujeres)	1998: 100% 2009: 97%	Total de Suplementos: 1998: $5,9 \pm 2,9$ 2009: $9,2 \pm 3,7$ Alimentos Deportivos: 1998: $1,5 \pm 0,9$ 2009: $3,3 \pm 1,5$ Ergogénicos: 1998: $2,8 \pm 1,7$ 2009: $4,0 \pm 1,7$
Shaw et al., (b)	2016	Nadadores Australia que participaron en campeonatos mundiales de la FINA	AIS: 13 nadadores (8 hombres, 5 mujeres) Otros Programas: 26 nadadores (11	97%	Grupo A: Suplementos Ergogénicos: Cafeína: 49% Creatina: 28% Multi-Vitaminas: 46%

			hombres, 15 mujeres)		Vitamina C: 85% Zinc: 85% Hierro: 41% Bicarbonato de Sodio/Citrato de Sodio: 44% Probióticos: 28%
Jiménez- Alfagene et al.,	2022	Nadadores de aguas abiertas federados en España	Total: 132 nadadores Nivel Nacional: 67 nadadores Nivel Regional: 65 nadadores (incluye 29 mujeres que solo compiten a nivel regional)	79,5% del total de la muestra Nivel Nacional: 88,1% Nivel Regional: 70,8%	Grupo A Suplementos de Rendimiento Deportivo: Cafeína: 39,4% Creatina monohidratada: 12,9%
Newbury et al.,	2023	Nadadores altamente entrenados en un club de natación de alto rendimiento del Reino Unido.	Total nadadores: 44 Desarrollo (11-14 años): 20 nadadores Grupo de Edad (13- 17 años): 13 nadadores Nivel Nacional (≥ 16 años): 11 nadadores	98%	Desarrollo: $3,9 \pm 1,7$ /nadador. Grupo de Edad: $4,8 \pm 2,0$ /nadador de los cuales, <u>Ergogénicos:</u> Cafeína: 23% Creatina Monohidratada: 8% Beta-Alanina: 8% Zumo de Remolacha: 8% Nivel Nacional: $8,1 \pm 3,4$ /nadador de los cuales, <u>Ergogénicos:</u> Cafeína Anhidra: 82% Beta-Alanina: 45% Creatina Monohidratada: 55% Bicarbonato de Sodio: 36% Zumo de Remolacha: 9%

1.4.1. Efecto del BJ sobre el rendimiento en natación

En nuestro conocimiento, solo tres investigaciones han explorado los posibles efectos beneficiosos de una suplementación con BJ en nadadores (Tabla 4). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha proporcionado resultados concluyentes en términos de mejora del rendimiento. Pinna et al. (2014) se propusieron determinar si el rendimiento de sus nadadores podía mejorar tras 6 días de suplementación con BJ (5,5mmol de NO_3^-). Los 14 nadadores eran moderadamente entrenados y realizaron una prueba incremental de nado atado. Cada nadador estaba sujeto por un cinturón a una cuerda elástica conectada a un dinamómetro digital que le proporcionaba continuamente en una pantalla los valores de fuerza aplicados a la cuerda. Los resultados de este estudio mostraron que la suplementación con zumo de remolacha redujo el coste energético aeróbico de la natación con una carga de trabajo submáxima (Pinna et al., 2014). Lowings et al. (2017) se propusieron como objetivo investigar los efectos de 140 ml (2 x 70 ml) de BJ 3 horas antes del inicio de una prueba máxima de 168m (8x21m) nado espalda. Los participantes eran 10 nadadores universitarios y los resultados no mostraron cambios ni el tiempo total de nado, ni el nado subacuático, ni la frecuencia, ni la longitud de brazada después de la suplementación con BJ. Sin embargo, los autores sugieren que la suplementación con nitratos podría provocar un efecto "posiblemente beneficioso" en el rendimiento durante la segunda mitad de la prueba. De hecho, el efecto de los suplementos de nitrato durante la primera mitad de la prueba se consideró "probablemente trivial", pero era un 64% probable que fuera beneficioso en la segunda mitad (Lowings et al., 2017). Esen et al. (2019) tampoco encontraron mejoras en el rendimiento ni en parámetros fisiológicos (concentración de lactato en sangre) en una prueba de 100 y 200 metros estilo libre con 30 minutos de recuperación entre ambas. En este estudio, participaron 10 nadadores "moderadamente entrenados" con un protocolo de ingesta crónica, durante dos períodos separados de suplementación de 3 días, con una dosis diaria de 8mmol de NO_3^- . Los resultados mostraron un aumento de la concentración de nitritos en plasma y una disminución de la presión arterial con la ingesta de BJ, pero no se observaron mejoras en el rendimiento de las pruebas (Esen et al., 2019).

Tabla 4

Efecto del BJ sobre el rendimiento en natación

Autor	Año	Protocolo y dosis de Suplementación	Tipo de Esfuerzo	Participantes	Impacto en el Rendimiento
Pinna et al.	2014	Crónica (6 días). 5.5 mmol BJ por día	Prueba incremental estilo libre	14 nadadores (hombres) moderadamente entrenados	↓ del costo energético aeróbico, ↑ en la carga de trabajo al umbral anaeróbico
Lowing et al.	2017	Aguda (3 horas antes del ejercicio). 140 mL de jugo de BJ	8x21m=168m espalda	10 nadadores competitivos (5 hombres, 5 mujeres)	Posible beneficio en la segunda mitad de la prueba
Esen et al.	2019	Crónica (3 días). 2 x 70 mL de BJ	100m y 200m estilo libre	10 nadadores moderadamente entrenados (5 hombres, 5 mujeres)	Ninguno

1.5. Justificación de la presente tesis doctoral

El rango de consumo de SS en el deporte es muy amplio y abarca entre el 30 y el 95% de los deportistas, siendo el consumo entre nadadores mayor en comparación con otras disciplinas. El sexo y el nivel de rendimiento se encuentran entre las variables más importantes para el consumo de SS, ya que éste aumenta con el nivel competitivo de los deportistas y en los hombres en comparación con las mujeres. Aunque existe una gran variedad de SS en el mercado, el Instituto Australiano del Deporte (AIS) los clasifica en cuatro grupos (A-B-C-D) de mayor a menor nivel de evidencia científica, siendo el grupo A el que tiene más evidencia. Dentro de este grupo, podemos encontrar el nitrato (NO_3) o zumo de remolacha (BJ) que podría tener efectos ergogénicos en el ejercicio de alta intensidad. Sin embargo, quedan muchas incógnitas por resolver sobre los posibles beneficios del NO_3 en modalidades deportivas de alta intensidad, especialmente en lo que respecta a:

- La dosis adecuada de BJ y el régimen de ingesta aguda o crónica.
- El impacto ergogénico en el rendimiento de individuos altamente entrenados.
- El tipo de esfuerzo realizado.

Por todo ello, nos planteamos las siguientes preguntas de investigación; 1) ¿Cuál es la prevalencia del uso y consumo de suplementos deportivos entre los nadadores de competición?, ¿existen diferencias significativas en la prevalencia de consumo según el sexo y el nivel competitivo?, ¿cuáles son los suplementos más consumidos por los nadadores competitivos?; 2) ¿Cómo afecta la suplementación con BJ al rendimiento de los nadadores competitivos en pruebas específicas con recuperaciones completas?; 3) ¿Cómo influye la suplementación con BJ en el rendimiento de los nadadores competitivos en pruebas específicas con recuperaciones incompletas?

2. Objetivos e hipótesis

En base a las preguntas de investigación, nos planteamos los siguientes objetivos en la presente Tesis Doctoral:

2.1. Objetivos generales

- Examinar el uso de los suplementos deportivos en nadadores de élite y determinar los efectos de una ingesta aguda de nitrato consumido en zumo de remolacha (BJ) en el rendimiento de nado.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar el uso de SS específicamente en nadadores de competición y describir el patrón de consumo, objetivo de consumo, quién lo recomendó y dónde lo compraron según el sexo y el nivel competitivo (nacional o internacional).
- Determinar los efectos ergogénicos de una ingesta aguda de BJ en el rendimiento en natación, en las variables fisiológicas del metabolismo anaeróbico y en las variables perceptivas durante un esfuerzo de nado repetido a máxima intensidad y con recuperación completa.
- Examinar si una ingesta aguda de BJ mejora el rendimiento de nado, las variables fisiológicas del metabolismo anaeróbico y las variables subjetivas durante intervalos de nado de alta intensidad con descanso incompleto.

2.3. Hipótesis

- **Hipótesis 1:** Los nadadores de mayor nivel de rendimiento y los nadadores hombres presentarán un mayor consumo de SS.
- **Hipótesis 2:** Los nadadores de competición que ingieran de forma aguda BJ no mostrarán un mejor rendimiento físico durante un esfuerzo de nado de alta intensidad con descansos completos, pero mostrarán una mejora en los parámetros psicofisiológicos.
- **Hipótesis 3:** Un protocolo de ingestión aguda de BJ mostrará una mejora en el rendimiento general o en la tolerancia al ejercicio durante un esfuerzo de nado de alta intensidad con descansos incompletos.

3. Estudios

Como resultado a dichas preguntas de investigación se han desarrollado diferentes estudios, los cuales han sido publicados en revistas de alto impacto internacional, en el cuartil Q1 y Q2 en el ranking de Journal Citation Reports (JCR) y SCIMAGO Journal and Country Rank (SJR). Estos estudios, buscan dar respuesta a las controversias relacionadas con la temática y atendiendo a los conceptos tratados en el marco teórico:

Tabla 5

Estudios derivados de la Tesis Doctoral

Estudios	Citación	Factor de impacto JCR/SJR	Cuartil
1	Moreno, B., Veiga, S., Sánchez-Oliver, A. J., Domínguez, R., & Morencos, E. (2022). Analysis of Sport Supplement Consumption by Competitive Swimmers According to Sex and Competitive Level. <i>Nutrients</i> , 14(15), 3218. https://doi.org/10.3390/nu14153218	JCR	Q1
2	Moreno, B., Morencos, E., Vicente-Campos, D., Muñoz, A., González-García, J., & Veiga, S. (2023). Effects of beetroot juice intake on repeated performance of competitive swimmers. <i>Frontiers in Physiology</i> , 13, 1076295. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1076295	SJR JCR	Q1 Q2
3	Moreno-Heredero B., Morencos E., Morais J.E., Barbosa Tiago M., Veiga S. (2024). Single Dose of Beetroot Juice not Enhance Performance during Intervallic Swimming Efforts. <i>Journal of Sports Science and Medicine</i> , 23, 228-235. https://doi.org/10.52082/jssm.2024.228	SJR JCR	Q1 Q2

4. Material y métodos

4.1. Estudio 1

Análisis del consumo de suplementos deportivos en nadadores de competición según sexo y nivel competitivo.

4.1.1. Participantes

Un total de 102 nadadores de competición (59 hombres y 43 mujeres) participaron voluntariamente en esta investigación. Todos los participantes pertenecían a un club de natación federado y competían en eventos de nivel nacional ($n = 60$) y/o internacional ($n = 39$) en ese momento (Tabla 2). Los nadadores de nivel internacional habían participado en competiciones con el equipo nacional durante al menos dos años. Todos los participantes realizaban una media de seis días de entrenamiento a la semana, cuatro horas de entrenamiento al día y una media de tres días a la semana de entrenamiento fuera del agua.

Tabla 6

Características de la muestra (media $\pm$ desviación estándar) divididos por sexo y nivel competitivo (internacional y nacional).

Variables	Sexo	Internacional	Nacional	valor <i>p</i> (nivel)	valor <i>p</i> (sexo)	valor <i>p</i> (nivel-sexo)
Altura (m)	Mujeres	1,69 $\pm$ 0,06 ^a	1,68 $\pm$ 0,07 ^a	0,380	<0,001	0,809
	Hombres	1,80 $\pm$ 0,08	1,79 $\pm$ 0,07			
	Total	1,74 $\pm$ 0,09	1,75 $\pm$ 0,09			
Peso (kg)	Mujeres	61,1 $\pm$ 5,5 ^a	58,1 $\pm$ 7,1 ^a	0,323	0,005	0,014
	Hombres	70,2 $\pm$ 8,0	70,8 $\pm$ 9,4			
	Total	65,3 $\pm$ 8,1	66,4 $\pm$ 10,3			
Entrenamientos semanales en agua	Mujeres	5,9 $\pm$ 0,3	5,8 $\pm$ 0,5	0,594	0,936	0,839
	Hombres	5,9 $\pm$ 0,3	5,8 $\pm$ 0,8			
	Total	5,9 $\pm$ 0,3	5,8 $\pm$ 0,7			
Entrenamientos semanales de fuerza	Mujeres	3,5 $\pm$ 1,0 ^b	4,3 $\pm$ 1,7 ^b	0,084	0,244	0,213
	Hombres	3,5 $\pm$ 1,2	3,6 $\pm$ 1,4			
	Total	3,5 $\pm$ 1,1	3,9 $\pm$ 1,5			

^a Diferencias de sexo del mismo nivel competitivo; ^b Diferencias de nivel del mismo sexo.

A todos los participantes se les administró un cuestionario que contenía tres secciones principales (Anexo 1):

1. Datos antropométricos, personales y sociales de cada participante.
2. Práctica de la actividad deportiva de los encuestados incluyendo 10 preguntas sobre, por ejemplo, el número de años federado, el nivel competitivo, los años compitiendo en el equipo nacional, las horas de entrenamiento en agua por semana, o las sesiones de entrenamiento en agua y en seco por semana.
3. El consumo de SS de los encuestados. Esta sección contenía tres preguntas sobre el tipo de SS que utilizaban (quién aconseja tomarlos, cuándo se toman, cuáles fueron las razones o dónde se pueden comprar los suplementos) y, por último, dos preguntas sobre el uso de sustancias prohibidas. Además, se incluía la definición de SS propuesta por Knapik et al. (2016) y una lista actualizada de SS. Las opciones de respuesta incluían un marco temporal como, por ejemplo, si los nadadores tomaban SS para entrenar, competir o ambas cosas y si los tomaban antes, durante o después del entrenamiento y/o la competición.

El cuestionario se validó y adaptó previamente en cuanto a su contenido, aplicación, estructura y presentación (Sánchez Oliver, 2012) y su calidad se evaluó en una revisión sistemática (Knapik et al., 2016). De acuerdo con una escala de ocho puntos que incluía evaluaciones de los métodos de muestreo, el marco de muestreo, el tamaño de la muestra, las herramientas de medición, el sesgo, la tasa de respuesta, la presentación estadística y la descripción de la muestra de participantes, la calidad del cuestionario alcanzó una puntuación del 54% (57 de 164 cuestionarios evaluados) y se consideró adecuada para obtener información precisa sobre el uso de suplementos por parte de los deportistas. Cabe destacar que este cuestionario se usó en diferentes estudios que han analizado el consumo de SS. Entre otras disciplinas se utilizó para regatistas de élite (Caraballo et al., 2020), en jugadores de balonmano de competición (Muñoz et al., 2020), en jugadores aficionados y profesionales de rugby (Sánchez-Oliver et al., 2020), en culturistas (Sánchez-Oliver et al., 2019) o en jugadores de squash (Ventura Comes et al., 2018).

4.1.2. Procedimiento

Todos los nadadores que participaron en esta investigación lo hicieron voluntariamente y su participación implicó rellenar un cuestionario sobre el uso de suplementos. Los nadadores cumplieron el cuestionario entre abril y octubre de 2019 en un formato web que se preparó para facilitar su distribución (Google Forms, Google, Mountain View, CA, USA). La información registrada en los cuestionarios no

permitía la identificación de los nadadores, permaneciendo todos ellos en el anonimato. Los participantes fueron reclutados con la ayuda de la federación nacional de natación, que distribuyó un correo electrónico con las instrucciones para cumplimentarlo y una versión online del cuestionario a todos los equipos con licencia nacional. Así, cuando los nadadores acudieron a su piscina habitual de entrenamiento, se les explicaron las características del estudio y al rellenar el cuestionario, los participantes firmaron el consentimiento informado. El protocolo se ajusta a la Declaración de Helsinki para la investigación en seres humanos y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Alfonso X El Sabio (Anexo 2).

4.1.3. Análisis estadístico

Se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para comprobar la normalidad y la homocedasticidad de los datos. Las variables cuantitativas se presentaron como media (M) $\pm$ desviación estándar (DE), mientras que las cualitativas se presentaron en porcentajes. Para el análisis de las posibles diferencias en el nivel de desempeño (internacional vs. nacional) y de las posibles diferencias en el sexo con respecto a la motivación, las expectativas y la contextualización del uso de SS, se realizó una prueba de chi-cuadrado (χ^2). Si se informaba de diferencias estadísticas, se realizaba también una odds ratio (OR). En cuanto al total de SS ingeridos, se realizó una prueba T de Student para muestras independientes para analizar posibles diferencias entre los niveles de rendimiento o entre el rendimiento en función del sexo. El nivel estadístico de significación se fijó en $p < 0,05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Statistical Package for Social Sciences (versión 18.0 para Mac, SPSSSTM Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

4.2. Estudio 2

Efectos de la ingesta de zumo de remolacha en el rendimiento repetido de nadadores de competición.

4.2.1. Participantes

Trece nadadores de competición, seis mujeres ($15,3 \pm 1,7$ años, $1,63 \pm 0,08$ m, $55,41 \pm 8,76$ kg e índice de masa corporal de $20,90 \pm 2,74$ kg/m²) y siete hombres ($16,4 \pm 1,4$ años, $1,76 \pm 0,03$ m, $63,02 \pm 6,46$ kg e índice de masa corporal de $20,22 \pm 1,66$ kg/m²) participaron en este estudio. Todos ellos formaban parte de un programa de entrenamiento de al menos 18 horas por semana en agua (aproximadamente 40-50 km/semana), 5 horas semanales de entrenamiento fuera del agua y tenían una experiencia competitiva de, al menos, 4 años. El promedio de sus mejores marcas personales correspondía a un nivel competitivo calificado como nivel 3 (nivel nacional), según Ruiz- Navarro et al. (2023). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes y sus tutores legales después de informarles del método y el propósito del estudio (Anexo 3). El diseño y el protocolo del estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Francisco de Vitoria (nº 42-2021), fueron registrados en ClinicalTrials.gov (NCT05470231) y cumplieron las recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

4.2.2. Diseño experimental

El experimento fue aleatorizado, controlado con placebo, doble ciego y contrabalanceado. Cada participante realizó dos sesiones separadas por 18 días para permitir la recuperación y la eliminación orgánica de remanentes derivados de la suplementación, en su piscina de entrenamiento habitual y en las mismas condiciones experimentales en términos de temperatura, humedad y hora del día. El ensayo fue doble ciego, de modo que un investigador externo asignó las bebidas de todos los participantes de forma contrabalanceada con asignación aleatoria a cada suplemento (Research Randomizer, [https:// www.randomizer.org](https://www.randomizer.org)). En la primera sesión, siete nadadores ingirieron el suplemento BJ y seis ingirieron un placebo (PLA) mientras que, en la segunda sesión, seis nadadores ingirieron el suplemento BJ y siete ingirieron un PLA.

4.2.3. Procedimiento

Tras una mañana de ayuno, los nadadores llegaron a su piscina de entrenamiento habitual 3 horas antes del test de nado (Figura 4). A su llegada a las 7:30 a.m., se les proporcionó 70 mL de dosis de BJ con 6,4 mmol de NO₃⁻ o 70 mL de PLA con 0,04 mmol

de NO_3^- , igualados en sabor, aspecto y envase (Beet-It-Pro Elite Shot, James White Drinks Ltd., Ipswich, Reino Unido) tal como se describe en otros estudios (Domínguez, Garnacho-Castaño, et al., 2017a; Senefeld et al., 2020). Al final de ambos ensayos, para determinar si habían identificado en qué día habían ingerido el BJ y o PLA, se les preguntó "¿Qué crees que has ingerido?" (López-Samanes et al., 2020). El primer día, cuatro participantes adivinaron correctamente lo que habían bebido y el segundo día solo un participante lo adivinó correctamente. Todos los participantes fueron instruidos para seguir un protocolo dietético el día anterior al test que consistía en un 60% de carbohidratos, un 30% de grasas y un 10% de proteínas (Jodra et al., 2020), y se les proporcionó una lista de alimentos ricos en NO (por ejemplo, remolacha, apio y espinacas) que debían eliminar de su dieta en las 48 h previas a cada ensayo (Miraftabi et al., 2021). Además, en las 24 h anteriores a cada prueba, se animó a los nadadores a evitar cepillarse los dientes o utilizar cualquier enjuague bucal, utilizar chicle e ingerir dulces, estimulantes (p.ej., cafeína) o alcohol, todos los cuales podrían alterar el microbiota bucal e interferir en la reducción de NO_3^- .

Después de la ingesta de los suplementos deportivos, se midió la composición corporal de los nadadores (Tanita B-601; Tanita Corp, Tokio, Japón) y la temperatura timpánica (Thermo-Scan 7-IRT 6520; Braun, Frankfurt, Alemania) para asegurar unas condiciones similares antes de cada prueba, y se midió su concentración de ácido láctico sanguíneo en reposo utilizando un analizador portátil Lactate Pro2 (Arkay, Shiga, Japón). También se registró lo que habían cenado la noche anterior, de modo que en el siguiente ensayo se les pudiera recordar lo que tenían que cenar de nuevo.

Una vez medidos los valores en reposo, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado fuera del agua durante 20 minutos. Una vez finalizado, los nadadores hicieron otro calentamiento en el agua, durante unos 30 minutos, incluyendo ejercicios de técnica y nado con intensidad creciente. Tras el calentamiento en agua, los nadadores completaron tres repeticiones de salto con contramovimiento (CMJ) con las manos en la cintura y con 45 s de recuperación pasiva entre ellos. Los saltos fueron medidos por el sistema Optojump Next con infrarrojos (Microgate, Bolzano, Italia) y se registró la mayor altura de los tres saltos.

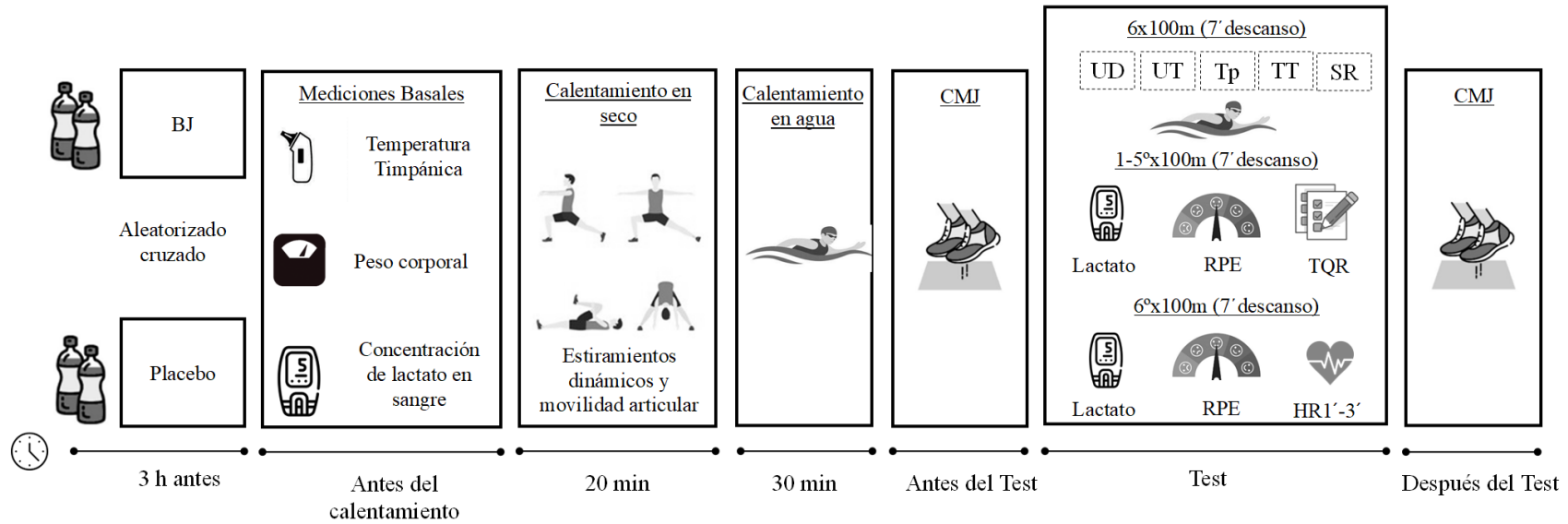
Tres horas después de haber ingerido la BJ o la PLA, los nadadores realizaron el test de uno en uno, en su piscina habitual de entrenamiento de 50 x 25m. Dicho test consistía en seis repeticiones de 100 m nado estilo libre a la máxima intensidad con salida de competición. Entre cada repetición los deportistas tuvieron 7 minutos de recuperación pasiva. Durante el test, dos entrenadores experimentados, tomaron tiempos parciales de

50 m y tiempos totales de 100 m utilizando un cronómetro FINIS Pace Clock 3x100m cronómetro digital.

Un minuto después de completar cada repetición de la prueba, se midieron las concentraciones de lactato en sangre con el analizador portátil Lactate Pro2. Unos 30 s después de las mediciones de lactato, se registró la percepción subjetiva de los nadadores por medio de la Escala de Valoración del Esfuerzo Percibido (RPE) CR-10 de Borg (Borg, 1982). Además, justo antes de la siguiente repetición de 100 m, se preguntó a los nadadores sobre su estado de recuperación utilizando la Escala de Calidad Total de Recuperación (TQR) (Kenttä & Hassmén, 1998). Al finalizar la última repetición de 100 m, se midió la frecuencia cardiaca de cada nadador durante un periodo de 30 s utilizando un monitor Geonaute OxyLane-4. Finalmente, tras el último descanso de 7 minutos, los nadadores realizaron tres saltos CMJ utilizando el mismo procedimiento que antes de la prueba de 6×100 m.

Figura 4

Diagrama del proceso de intervención en el estudio 2.



BJ: Zumo de Remolacha; PLA: Placebo; HR: Frecuencia Cardíaca; RPE: Escala Percepción del Esfuerzo; TQR: Escala Calidad de Recuperación; CMJ: Salto en Contramovimiento; Tp: Tiempo Parcial; TT: Tiempo Total; SR: Frecuencia de Brazada; UD: Distancia Subacuática; UT: Tiempo Subacuático.

4.2.4. Procesamiento de los datos

Toda la prueba de 6×100 m se grabó a 25 Hz con una cámara de vídeo fija JVC modelo GY-HM150E situada en las gradas del público a 12,5 m de la pared de salida o de viraje (Imagen 1). La posición en la grada era 5 m por encima y a 10 m de la calle en la que los nadadores realizaban el test. Usando las boyas de colores que separaban las calles de la piscina, se calibraron las imágenes de vídeo por medio de cuatro puntos control que rodeaban la superficie de nado. Con el software Kinovea (Versión 9.5; Joan Charmant & Contrib.), se calculó la distancia y el tiempo subacuático empleado por los nadadores marcando la posición exacta de la cabeza del nadador al romper la superficie del agua después del tramo de nado subacuático de la salida o el viraje (Imagen 2). Asimismo, a partir del registro de vídeo se recogieron las frecuencias de brazada de los nadadores (ciclos/min) en el segundo o tercer parcial de 25m de cada repetición. Para ello, se calculó el tiempo empleado por los nadadores para realizar un ciclo completo de nado desde la entrada de la mano hasta la siguiente entrada de la misma mano al agua (Veiga et al., 2022).

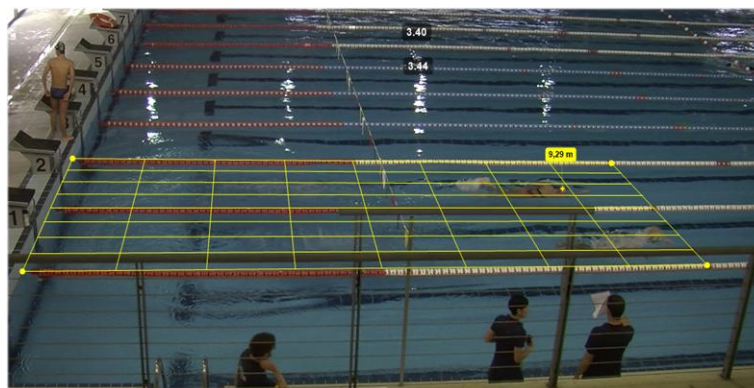
Imagen 1

Cámara de vídeo fija JVC



Imagen 2

Calibración de las imágenes con Kinovea



4.2.5. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con IBM SPSS Statistics para Macintosh (Versión 26.0; IBM Corp., Armonk, NY). Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para determinar si la distribución de los datos cumplía el supuesto de normalidad. Los supuestos de varianza y esfericidad se comprobaron con las pruebas de Levene y Mauchly, respectivamente. Se utilizó un análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías para identificar los efectos de la BJ o la PLA sobre las variables dependientes. Para las comparaciones post Hoc se utilizó la corrección de Bonferroni. Los valores de eta-cuadrado parcial (η_p^2) se calcularon para los efectos principales y la interacción. Fueron clasificados como pequeño $< 0,01$, medio $< 0,06$ grande $< 0,14$ (Cohen, 1992). Además, se calcularon las magnitudes estimadas (d de Cohen, intervalos de confianza [IC] del 90%) entre las comparaciones por pares entre las condiciones PLA y BJ. Se utilizaron datos transformados logarítmicamente para reducir el sesgo de error de no uniformidad. El umbral de efecto estandarizado significativo más pequeño se fijó en 0,2. Los rangos de probabilidad $< 1\%$ indicaban casi con certeza ninguna posibilidad de cambio; 1% pequeño, $\geq 0.2-0.5$ es moderado, $\geq 0.5-0.8$ es grande, y ≥ 0.8 es muy grande (Hopkins et al., 2009). Los resultados se expresan como $M \pm DE$. El nivel de significancia se fijó en $p < 0,05$.

4.3. Estudio 3

Una dosis única de zumo de remolacha no mejora el rendimiento durante los esfuerzos de natación interválica.

4.3.1. Participantes

Dieciocho nadadores de competición, nueve mujeres ($17,1 \pm 1,0$ años, $1,71 \pm 1,41$ m y $55 \pm 1,41$ kg e índice de masa corporal de $20,60 \pm 1,5$ kg/m²) y nueve hombres ($17,0 \pm 1,3$ años, $1,78 \pm 8,29$ m y $69,33 \pm 10,02$ kg e índice de masa corporal de $21,74 \pm 2,87$ kg/m²) participaron en este estudio. Todos formaban parte de un programa de entrenamiento de al menos 18 horas semanales en el agua (aproximadamente 40 - 50 km/semana), 5 horas por semana fuera del agua, y tenían al menos 4 años de experiencia competitiva. Sus mejores tiempos personales medios correspondían a nivel 3 (nivel nacional) según Ruiz-Navarro et al. (2023). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito obtenido de todos los participantes y sus tutores legales, después de informarles del método y el propósito del estudio. El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto Politécnico de Bragança (nº 79/2022) y fueron registrados en ClinicalTrials.gov (NCT05657093) y cumplieron las recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

4.3.2. Diseño experimental

El experimento fue un estudio aleatorizado, controlado con placebo, doble ciego y contrabalanceado. En la primera sesión diez nadadores consumieron el suplemento BJ y ocho consumieron un placebo (PLA). Cada participante completó dos sesiones, separadas por 7 días para permitir la recuperación y el lavado de la sustancia, en su piscina de entrenamiento habitual y en las mismas condiciones experimentales (es decir, a la misma hora del día). La piscina era cubierta, de 50x25 metros, con una temperatura del agua de 27°C en ambos días.

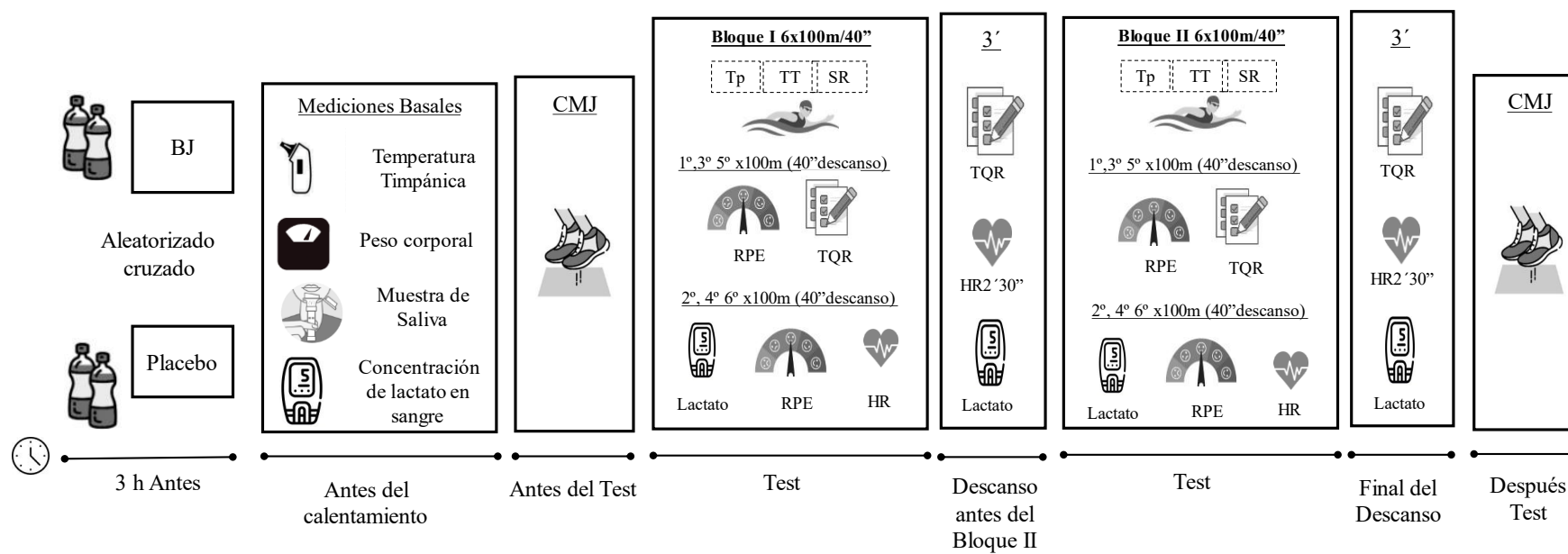
4.3.3. Procedimiento

En ambas condiciones experimentales los nadadores ingirieron el zumo de remolacha (BJ) en un envase de bolsillo, BJ (70 mL, 6,4 mmol/400 mg NO₃⁻; Beet-It-Pro Elite Shot; James White Drinks Ltd., Ipswich, Reino Unido) o PLA (70 mL, 0,04 mmol/3 mg NO₃⁻), con el mismo sabor, dosis, apariencia y envase descritos en otros estudios (Cuenca et al., 2018; López-Samanes et al., 2020). En línea con estudios previos (Cuenca et al., 2018; López-Samanes et al., 2020; Silva et al., 2022), la ingesta de zumo se realizó para todos los

nadadores tres horas antes de la prueba de natación (Figura 5). Esto aseguró un pico de los niveles de nitrato durante la prueba de ejercicio, tal como describe Wylie et al. (2013).

Figura 5

Diagrama del proceso de intervención en el estudio 3.



BJ: Zumo de Remolacha; PLA: Placebo; HR: Frecuencia Cardíaca; RPE: Escala Percepción del Esfuerzo; TQR: Escala Calidad de Recuperación; CMJ: Salto en Contramovimiento; Tp: Tiempo Parcial; TT: Tiempo Total; SR: Frecuencia de Brazada.

El día anterior a la prueba, los nadadores siguieron un protocolo de ingesta de aproximadamente 60% de carbohidratos, 30% de grasas y 10% de proteínas, con una lista de alimentos ricos en NO_3^- (p.ej., remolacha, apio, espinacas) que debían eliminarse de la dieta (López-Samanes et al., 2020). Además, los nadadores evitaron cepillarse los dientes, enjuagarse la boca, masticar chicle y consumir dulces, estimulantes (p.ej., caféina) o alcohol, todos los cuales podrían alterar el microbiota oral e interferir en la reducción de NO_3^- , durante las 24 horas previas a los experimentos (López-Samanes et al., 2020). Se utilizó una hoja de registro para anotar lo que los nadadores habían cenado la noche anterior al experimento, de modo que pudieran recordarlo antes del segundo experimento. Para determinar si los participantes habían identificado qué día habían ingerido el BJ y/o PLA se les preguntó "¿Qué cree que ha ingerido?" al final de cada condición (López-Samanes et al., 2020). Menos de la mitad de los participantes adivinaron correctamente a qué grupo pertenecían.

Antes de comenzar la prueba de natación, se midió el lactato en reposo de los nadadores (Lactate Pro2; Arkray, Shiga, Japón) para garantizar unas condiciones de referencia similares antes de cada prueba (Imagen 3). Tras medir los valores en reposo, los nadadores realizaron 3 repeticiones del salto con contramovimiento (CMJ) con las manos en la cintura y 45 s de recuperación pasiva utilizando un sistema de salto por infrarrojos (Optojump Next; Microgate, Bolzano, Italia). Esta medida de CMJ se incluyó como indicador de la fatiga general de los atletas (Gathercole et al., 2015) (Imagen 4).

Imagen 3

Material para la medición del lactato

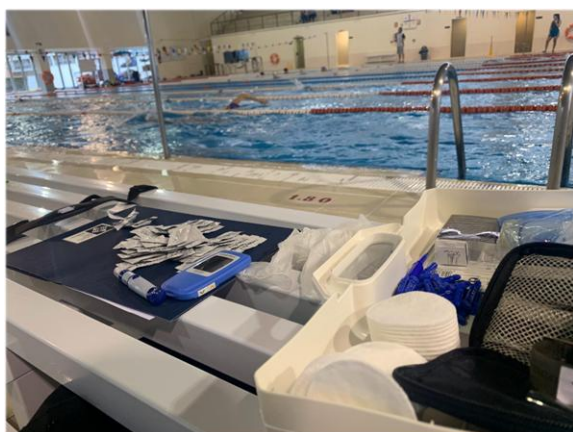


Imagen 4

Salto con contramovimiento (CMJ)



La prueba de natación consistió en 2 bloques de 6×100 m de nado estilo libre a la máxima intensidad y con salida de empuje (Trinidad et al., 2022). El tiempo de recuperación entre las repeticiones de 100 m fue de 40 segundos, mientras que se permitió un período de descanso de 3 minutos entre el primer y el segundo bloque. Este

entrenamiento representó un ejercicio de entrenamiento típico para nadadores competitivos de media distancia cuando se trabaja en las zonas de intensidad 3 y 4 (por encima de 4 mmol.L-1), como describe Hellard *et al.*, (2017). Para asegurar un cronometraje preciso, dos entrenadores experimentados registraron los tiempos parciales y totales de cada repetición de 100m con un cronómetro FINIS Pace Clock 3x100m digital, y fueron informando a los nadadores entre cada repetición.

Al finalizar las repeticiones pares (durante los 40 segundos de descanso) y también antes de iniciar el bloque 2, se midieron las concentraciones de lactato. También se midió la frecuencia cardiaca con un monitor de frecuencia cardiaca Geonate OxyLane-4 inmediatamente al final cada bloque y también después del periodo de descanso antes del inicio del siguiente bloque. La percepción subjetiva del esfuerzo se midió usando la Escala de Esfuerzo Percibido (RPE) CR- 10 de Borg (Borg, 1982) al final de cada repetición. La escala de calidad de recuperación (TQR) de Kentta (Kenttä & Hassmén, 1998) fue medida también en cada repetición de 100 m justo antes del inicio de la siguiente repetición. Por último, los nadadores realizaron tres saltos CMJ después de la prueba, siguiendo el mismo procedimiento que antes de la prueba.

4.3.4. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con IBM SPSS Statistics para Macintosh (versión 26.0; IBM Corp., Armonk, NY). Suponiendo un nivel alfa de 0,05 y β de 0,80, el tamaño de la muestra tamaño se estimó en 18 participantes utilizando el software G*Power (Faul et al., 2007). Se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para determinar si la distribución de los datos cumplía el supuesto de normalidad. Los supuestos de varianza y esfericidad se comprobaron utilizando las pruebas de Levene y Mauchly, respectivamente. Los valores de eta- cuadrado parcial (η_p^2) clasificados como pequeño < 0,01, medio <0,06, grande < 0,14 (Cohen, 1992). Se realizó un análisis de análisis de varianza de medidas repetidas de tres vías (condición: BJ o PLA, bloque: primero o segundo, repetición: primero a sexto) para identificar los efectos sobre las variables dependientes. Para las comparaciones post Hoc se utilizó la corrección de Bonferroni. Los valores de eta- cuadrado parcial (η_p^2) se calcularon para los efectos principales y la interacción. Fueron clasificados como pequeño < 0,01, medio <.06, grande < .14 (Cohen, 1992). Los resultados se expresan como $M \pm DE$. El nivel de significancia se fijó en $p < 0,05$.

5. Artículos científicos

5.1. Estudio 1

Análisis del consumo de suplementos deportivos en nadadores de competición según sexo y nivel competitivo.

Moreno, B., Veiga, S., Sánchez-Oliver, A. J., Domínguez, R., & Morencos, E. (2022). Analysis of Sport Supplement Consumption by Competitive Swimmers According to Sex and Competitive Level. *Nutrients*, 14(15), 3218. <https://doi.org/10.3390/nu14153218>



Article

Analysis of Sport Supplement Consumption by Competitive Swimmers According to Sex and Competitive Level

Berta Moreno ^{1,2}, Santiago Veiga ² , Antonio J. Sánchez-Oliver ³ , Raúl Domínguez ³ and Esther Morencos ^{1,*}

¹ Exercise Physiology Group, Exercise and Sport Sciences, Faculty of Health Sciences, Universidad Francisco de Vitoria, 28223 Madrid, Spain

² Faculty of Physical Activity and Sports Sciences (INEF), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28040 Madrid, Spain

³ Departamento de Motricidad Humana Rendimiento Deportivo, Universidad de Sevilla, 41013 Sevilla, Spain

* Correspondence: esther.morencos@ufv.es; Tel.: +34-91-709-1400

Abstract: Sports supplements (SS) are commonly used by athletes to improve their performance. SS use by competitive swimmers is reported to be prevalent but there is no evidence of such use by elite swimmers, either male or female. The objective of this research was to study the patterns of SS use by competitive swimmers based on sex and competitive levels (national and international); Methods: Using the categories of the Australian Institute of Sport (AIS), a total of 102 competitive swimmers (59 men and 43 women) completed a validated self-administered questionnaire on the use of SS; (3) Results: Overall, 86.9% of swimmers had consumed SSs with no differences observed between males and females ($p = 0.247$) or between competitive levels ($p = 0.597$). The SS that were most consumed by swimmers were caffeine (53.5%), sport drinks (52.5%), sport bars (51.5%), and vitamin C (43.4%). SSs categorized as medical supplements were consumed significantly more frequently by international swimmers ($p = 0.012$), with significant differences also found in the level—sex interaction ($p = 0.049$); (4) Conclusions: Compared to other sports disciplines, the prevalence of SS consumption is high in competitive swimmers regardless of performance level or gender. However, the consumption of medical supplements was greater in swimmers at a higher performance level.

Keywords: nutrition; swimming; ergogenic aids; performance; elite swimmers



Citation: Moreno, B.; Veiga, S.; Sánchez-Oliver, A.J.; Domínguez, R.; Morencos, E. Analysis of Sport Supplement Consumption by Competitive Swimmers According to Sex and Competitive Level. *Nutrients* **2022**, *14*, 3218. <https://doi.org/10.3390/nu14153218>

Academic Editor: Joerg Koenigstorfer

Received: 18 July 2022

Accepted: 4 August 2022

Published: 6 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The main objective of competitive swimming is to complete a set distance (ranging from 50 m to 1500 m in official swimming pool events) in the shortest possible time using the front crawl, breaststroke, backstroke, or butterfly technique [1]. Swimming events can last from approximately 20 s to 16 min approximately, and depending on the characteristics of the event, the efforts require different energy systems, such as high-energy phosphagen, glycolytic and oxidative phosphorylation of carbohydrates, fats, or proteins [2].

The fact that swimming takes place in the water poses unique challenges for the swimmer, with the obligation to reduce drag forces and to maximize propulsive forces becoming a decisive factor in dictating the physiological and energetic demands rather than the duration of the test itself [3]. Training programs for elite competitors usually consist of a large amount of high-intensity training [4,5], although specific training demands depend on the characteristics of the sprint, middle-distance, or distance event. For example, the aerobic involvement in a 400 m front crawl event is 81%, while in the shorter events, such as 50 m and 100 m front crawl, the aerobic contribution is 15.3% [2]. This also has consequences on the different nutritional requirements for success in each discipline [2,6,7].

Previous studies have investigated strategies to increase performance by means of better recovery [2,3,8–10] through the use of nutritional measures, such as sports supplements [8,11,12]. The SSs should be considered as a supplement to the usual diet, which is consumed with the aim of achieving specific performance benefits [13]. Despite this,

only a small portion of current SSs on the market have been shown to produce significant improvements in performance [13–16]. Some SS, such as sodium citrate or phosphate, have been reported to provide a negligible benefit to exercise capacity [17–19]. Thus, it is necessary to carry out a cost–benefit analysis based on the criteria for SS safety, efficacy, and legality [15] prior to introducing supplements, providing strategies that allow us to resist in the face of external agents [20].

Different international institutions periodically publish position stands that are elaborated to guide the practice of supplementation, such as the Australian Institute of Sport (AIS) which created the ABCD system, whereby each SS is classified according to the level of scientific evidence [21]: SSs in group A present a high level of scientific evidence; those in group B can have a positive effect in certain circumstances, but more evidence is necessary; those in group C are supplements for which evidence is lacking; and those in group D are prohibited substances. At the same time, SSs are subdivided into sports foods, medical supplements, and ergogenic aids. Several studies have reported the effects of supplementation in athletes based on this classification system [14,22–25], and athletes following a SS program under the AIS guide have displayed a greater consumption of SSs with a high level of scientific evidence [26].

The reported range of SS consumption in sports is very wide and comprises between 30–95% of athletes [23,25,27]. Sex and level of performance are among the most important variables for SS consumption, as SS consumption increases with the competitive level of athletes and in men compared to women [13,23,25,28]. A higher rate of SS consumption has been reported among swimmers (in comparison to other disciplines) as swimming was ranked among the top four sports in terms of the SS use prevalence at the 2000 Sydney Olympic Games [29,30]. The SS consumption patterns in competitive swimmers indicated that all 23 swimmers surveyed in Sri Lanka had consumed SSs and had a daily intake of 3.4 different supplements [26]. However, these data were collected from swimmers with a low competitive level, and, to the best of our knowledge, no other evidence on the SS consumption prevalence or SS characteristics in elite swimmers has been observed.

Therefore, the objective of this study was to analyze the use of SSs specifically in competitive swimmers (national and international levels) and to describe the consumption pattern according to sex and competitive level. It was hypothesized that swimmers of a higher level of performance and male swimmers would present higher SS consumption.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

A total of 102 competitive swimmers (59 men and 43 women) voluntarily participated in this investigation. All participants belonged to a federated swimming club and were competing in national ($n = 60$) and/or international ($n = 39$) events at the time. Swimmers of international level had taken part in international-level competitions with the national team for at least two years. Three swimmers from the original sample were eliminated from the study because they did not have the required competitive national level; therefore, 99 swimmers were included in the final sample. All participants had an average of six days of training per week, four hours of training per day, and an average of three days per week of out-of-water training.

2.2. Instruments

The questionnaire used contained three main sections: the first one collected anthropometric, personal, and social data of the respondent; the second section covered the practice of the sport activity and included 10 questions about, for example, the number of years federated, the competitive level, years competing in the national team, the hours of water training by week, the sessions of water training by week or dry-land training sessions by week. The last and most extensive section was related to SS consumption. This section contained three questions on the type of diet the swimmers had, 12 questions on the use and consumption of SS (i.e., what supplements are taken, for what reasons

are they taken, who advises to take them, when are they taken, what were the reasons or where can the supplements be purchased), and, finally, two questions on the use of banned substances. In addition, this part included the definition of sports supplements (SS) proposed by Knapik [28] and an updated list of SSs. The response options included a time frame such as whether swimmers took SSs for training, competition, or both and whether they took them before, during, or after training and/or competition.

The questionnaire was previously validated in terms of its content, application, structure, and presentation [31] and its quality was evaluated in a systematic review [28]. According to an eight-point scale that included assessments of sampling methods, sampling frame, sample size, measurement tools, bias, response rate, statistical presentation, and description of the participant sample, the quality of the questionnaire reached a 54% score (57 out of 164 questionnaires evaluated) and it was considered adequate to obtain accurate information on supplement use by athletes. It is worth noting its use in different studies that have analyzed the consumption of SS in athletes [14,24,25,27,32].

2.3. Process

All swimmers who participated in this research did so voluntarily and only had to complete a questionnaire on the use of supplements [31]. Swimmers completed the questionnaire between April and October 2019 in a web format that was prepared to facilitate its distribution (Google Forms, Google, Mountain View, CA, USA). The information recorded in the questionnaires did not allow the identification of the swimmers, all of whom remained anonymous. The participants were recruited with the help of the National Swimming Federation, which distributed an e-mail with instructions for completion and an online version of the questionnaire to all the teams with a national license. Thus, when the swimmers went to their usual training pool, the characteristics of the study were explained to them, and consent was obtained from all of them. The protocol complies with the Declaration of Helsinki for human research and was approved by the Ethics Committee of the local university committee.

2.4. Statistical Analysis

The Kolmogorov–Smirnov test and the Levene test were applied to check for normality and homoscedasticity. Quantitative variables were presented as an average (M) $\pm$ standard deviation (SD), while qualitative variables were in percentages. For the analysis of possible differences in the level of performance (international vs. national) and of the possible differences in sex with regard to the motivation, expectations, and contextualization of the use of SS, a chi-square test (χ^2) was performed. If statistical differences were reported, an odds ratio (OR) was also performed. As to the total SSs ingested, a Student's T-test for independent samples was carried out to analyze possible differences between the levels of performance or between performance based on sex. The statistical level of significance was set at $p < 0.05$. The statistical analyses were performed using the Statistical Package for Social Sciences (version 18.0 for Mac, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. Results

The sample characteristics are reported in Table 1. Male swimmers presented as taller ($p < 0.001$) and heavier ($p = 0.005$) than female swimmers, although no anthropometric differences were reported for level or level–sex. Additionally, no statistically significant differences were found for the number of weekly training days or the number of strength training days in relation to the competitive level, sex, or level–sex ($p > 0.05$). However, national female swimmers performed more strength training days than did international female swimmers ($p = 0.044$). No differences were reported for level ($p = 0.522$) and sex ($p = 0.384$) in the years of federated swimming with 20.2% of the sample federate for less than 5 years, 39.4% between 5 and 8 years, and 40.4% for more than 9 years.

Table 1. Characterization of sample data divided by sex and competitive level (international and national).

Measure	Sex	International	National	p-Value Level	p-Value Sex	p-Value Level-Sex
Height (m)	Females	1.69 ± 0.06 ^λ	1.68 ± 0.07 ^λ	0.380	<0.001	0.809
	Males	1.80 ± 0.08 ^λ	1.79 ± 0.07 ^λ			
	Total	1.74 ± 0.09 ^λ	1.75 ± 0.09 ^λ			
Weight (kg)	Females	61.1 ± 5.5 ^λ	58.1 ± 7.1 ^λ	0.323	0.005	0.014
	Males	70.2 ± 8.0 ^λ	70.8 ± 9.4 ^λ			
	Total	65.3 ± 8.1 ^λ	66.4 ± 10.3 ^λ			
Weekly training days	Females	5.9 ± 0.3	5.8 ± 0.5	0.594	0.936	0.839
	Males	5.9 ± 0.3	5.8 ± 0.8			
	Total	5.9 ± 0.3	5.8 ± 0.7			
Weekly strength training sessions	Females	3.5 ± 1.0 *	4.3 ± 1.7 *	0.084	0.244	0.213
	Males	3.5 ± 1.2	3.6 ± 1.4			
	Total	3.5 ± 1.1	3.9 ± 1.5			

Data expressed mean ± standard deviation (SD). ^λ Sex differences of the same competitive level; * Level differences of the same sex. Statistical significance fixed at $p < 0.05$.

3.1. SS Consumption Characteristics

In relation to SS consumption characteristics, 6.1% of the sample said they were against SS consumption in swimming, while 80.8% said they were in favor and 13.1% either did not know or did not answer, with no statistically significant differences observed according to sex ($p = 0.841$) or competitive level ($p = 0.417$). When asked if they had ever consumed SSs, 86.9% of the sample answered affirmatively, with no differences observed between men and women ($p = 0.247$) or between swimmers at international and national levels ($p = 0.597$). The main motivations for SS consumption were performance improvement (59.2%), health care (14.6%), or to cover dietary deficits (10.0%), with no statistically significant differences between sexes ($p = 0.109$) or between the level of swimmers ($p = 0.530$).

As shown in Figure 1, SSs were most frequently purchased at specialized SS stores (32.0%) and pharmacies (27.2%), followed by shopping centers (10.9%) and the Internet (10.9%), with no differences between sexes ($p = 0.193$). There were also no differences between swimmers at the national and international levels ($p = 0.822$).

As can be seen in Figure 2, the coach was the person who most frequently advised the consumption of SSs (40.3%), followed by the dietitian—nutritionist (20.1%), the physician (10.0%), the physical trainer (8.1%), family (6.7%), teammates (6.0%), friends (4.7%), or others (4.1%). No significant differences were observed between sexes ($p = 0.421$) or levels ($p = 0.227$).

Regarding when SSs were consumed within the season, most subjects reported consuming SSs during the competitive period (66.0%), followed by those who consumed them only during the training period (23.0%), throughout the year (7.0%), or at other times (4.0%), with no differences found according to sex ($p = 0.702$) or competitive level ($p = 0.838$). In addition, no differences were found between men and women ($p = 0.284$), although differences were observed according to level ($p < 0.001$). International level swimmers presented a greater mode of SS consumption before, during, and after exercise (39.5% vs. 18.6%), whereas national level swimmers had a greater SS consumption mode exclusively before (42.4% vs. 13.2%; OR = 2.56 [1.05–6.27]) or after (27.2% vs. 21.1%; OR = 1.29 [0.60–2.74]) exercise as compared to international level swimmers.

3.2. Type of SS Consumption

Group-level evidence of SSs (A, B, and C; see Table 2) showed no statistical differences in SS consumption for competitive level, sex, or level—sex ($p > 0.05$). As for the different subgroups of group A, a higher consumption of medical supplements was found in international level swimmers ($p = 0.012$), reaching statistically significant differences in men ($p = 0.001$) but not in women ($p = 0.709$). In addition, higher consumption was found in

women at the national level as compared to men at the same competitive level ($p = 0.013$). Finally, the subgroup “sport performance” showed higher consumption for national level men as compared to national level women ($p = 0.036$).

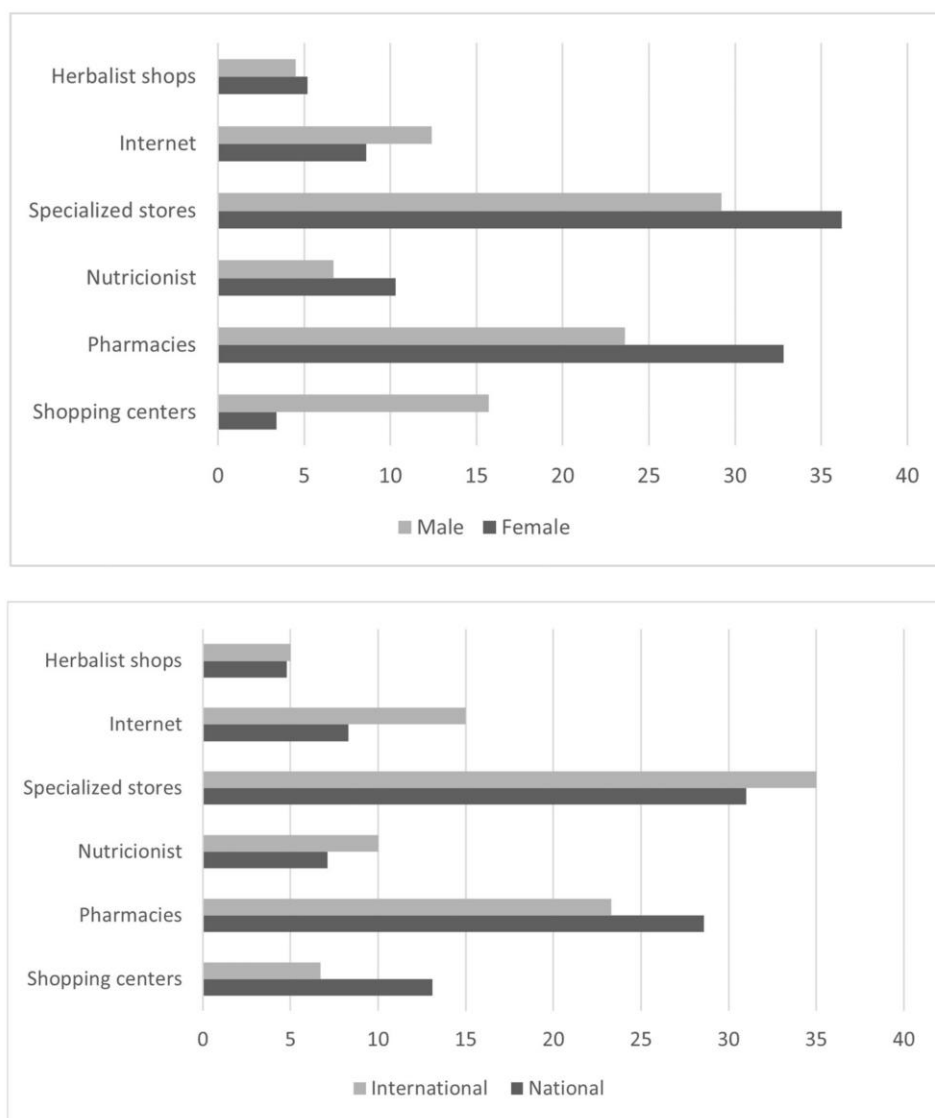


Figure 1. Main site of supplement purchase by elite swimmers according to sex (**up**) and competitive level (**down**).

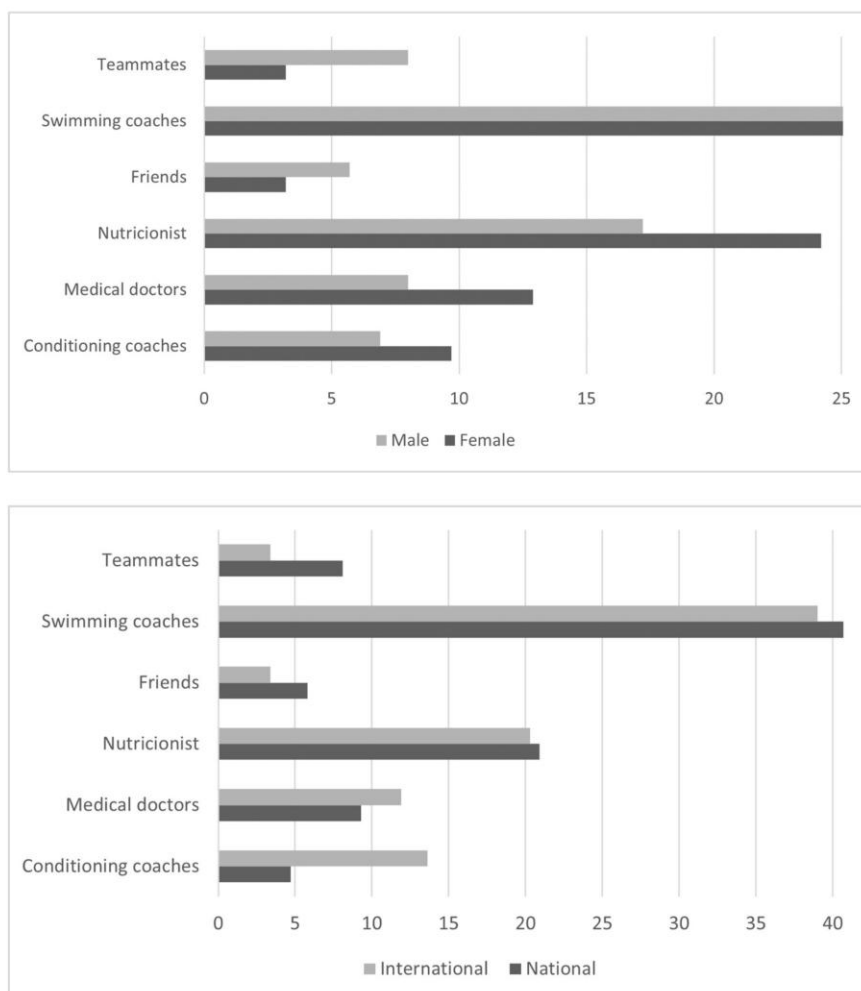


Figure 2. Sources of information or advice on the use of supplements by elite swimmers according to sex (**up**) and competitive level (**down**).

As can be seen in Table 3, there was a consumption rate higher than 10% for 17 SSs in total, with caffeine (53.5%), sports drinks (52.5%), sports bars (51.5%), and vitamin C (43.4%) as the most consumed substances. No differences were observed based on sex for supplements with a consumption rate of at least 10%. Males were observed to have significantly lower consumption of vitamin complexes compared to females ($p = 0.029$; OR = 0.33 [0.12–0.87]), but they had a higher consumption of creatine ($p = 0.041$; OR = 2.92 [1.10–7.72]), taurine ($p > 0.001$), and a trend toward significance in the case of whey protein ($p = 0.059$; OR = 2.77 [0.99–7.7]). On the other hand, international level athletes presented a greater iron intake ($p < 0.001$; OR = 5.77 [2.32–14.32]) than those at the national level.

Table 2. Number of SSs used by swimmers of both sexes and at different competitive levels according to AIS categories [21].

AIS Categories		Sex	Total	International	National	<i>p</i> -Value Level	<i>p</i> -Value Sex	<i>p</i> -Value Level-Sex
Group A	Total SS	Females	5.5 ± 3.5	6.4 ± 4.1	4.5 ± 2.4	0.091	0.841	0.600
		Males	5.4 ± 4.3	6.1 ± 4.8	5.1 ± 4.1			
		Total	5.4 ± 4.0	6.3 ± 4.4	4.9 ± 3.6			
	Sport foods	Females	1.4 ± 1.2	1.5 ± 1.4	1.3 ± 1.0	0.793	0.769	0.492
		Males	1.4 ± 1.2	1.3 ± 1.1	1.4 ± 1.2			
		Total	1.4 ± 1.2	1.4 ± 1.3	1.4 ± 1.1			
	Medical supplements	Females	1.0 ± 0.9	1.1 ± 0.89	1.0 ± 0.9 λ	0.012 *	0.210	0.049 *
		Males	0.7 ± 0.8	1.2 ± 1.0 #	0.4 ± 0.6			
		Total	0.8 ± 0.9	1.2 ± 0.9 #	0.6 ± 0.8			
	Sport performance	Females	1.0 ± 1.1	1.1 ± 1.2	0.8 ± 1.0 λ	0.979	0.160	0.190
		Males	1.4 ± 1.2	1.2 ± 1.0	1.5 ± 1.3			
		Total	1.2 ± 1.2	1.2 ± 1.1	1.3 ± 1.3			
	Total Group A	Females	3.4 ± 2.3	3.8 ± 2.6	3.1 ± 1.8	0.979	0.314	0.762
		Males	3.4 ± 2.5	3.7 ± 2.7	3.3 ± 2.4			
		Total	3.4 ± 2.4	3.7 ± 2.6	3.2 ± 2.2			
	Group B	Females	0.9 ± 0.9	1.1 ± 0.9	0.6 ± 0.9	0.132	0.713	0.302
		Males	0.8 ± 0.9	0.8 ± 0.9	0.7 ± 0.9			
		Total	0.8 ± 0.9	1.0 ± 0.9	0.7 ± 0.9			
	Group C	Females	1.2 ± 1.3	1.5 ± 1.4	0.8 ± 1.1	0.079	0.615	0.798
Males		1.2 ± 1.9	1.6 ± 2.2	1.1 ± 1.8				
Total		1.2 ± 1.7	1.6 ± 2.2	1.0 ± 1.6				

Data expressed mean ± standard deviation (SD). *: Significant difference for a determined factor; #: Significant difference between international and national of a same sex; λ Significant difference between males and females of a same competitive level; Statistical significance at $p < 0.05$.

Table 3. Most used supplements according to sex and competitive level based on AIS categories [21].

	AIS Categories	Supplement	Total	Sex			Level				
				Females	Males	p-Value	OR	International	National	p-Value	OR
Group A	Sport foods	Sport drinks	52.5%	46.2%	49.1%	0.542	0.72 [0.33–1.62]	46.2%	56.7%	0.410	0.66 [0.29–1.47]
		Sport bars	51.5%	45.1%	54.9%	0.685	0.80 [0.36–1.77]	43.6%	56.7%	0.223	0.59 [0.26–1.33]
	Medical supplement	Whey protein	14.3%	31.6%	14.3%	0.059	2.77 [0.99–7.7]	33.3%	18.3%	0.099	2.2 [0.88–5.66]
		Iron	33.3%	42.9%	26.3%	0.091	0.48 [0.20–1.11]	56.4%	18.3%	<0.001 *	5.77 [2.32–14.32]
		Vitamin D	27.3%	28.6%	26.3%	0.823	0.89 [0.37–2.18]	30.8%	25.0%	0.645	1.33 [0.54–3.27]
	Sport performance	Vitamin complex	22.2%	33.3%	14.0%	0.029 *	0.33 [0.12–0.87]	28.2%	18.3%	0.323	1.75 [0.67–4.55]
		Caffeine	53.5%	45.2%	59.6%	0.221	1.80 [0.80–4.01]	53.8%	53.3%	1.00	1.02 [0.46–2.29]
		Creatine	28.3%	16.7%	36.8%	0.041 *	2.92 [1.10–7.72]	25.6%	30.0%	0.820	0.81 [0.33–1.99]
		Bicarbonates	21.2%	14.3%	23.6%	0.214	2.14 [0.75–6.10]	15.4%	25.0%	0.319	0.55 [0.19–1.56]
		β-alanine	17.2%	21.4%	14.0%	0.421	0.60 [0.21–1.71]	20.5%	15.0%	0.587	1.46 [0.51–4.12]
Group B	Vitamin C	43.4%	40.4%	47.6%	0.540	0.74 [0.33–1.66]	53.8%	36.7%	0.102	2.02 [0.89–4.57]	
	Vitamin E	16.2%	14.3%	17.5%	0.785	1.28 [0.42–3.84]	-	-	-	-	
	Carnitine	13.1%	16.7%	10.5%	0.386	0.59 [0.18–1.90]	15.4%	11.7%	0.762	1.38 [0.43–4.45]	

Table 3. Cont.

AIS Categories	Supplement	Total	Sex			Level				
			Females	Males	p-Value	OR	International	National	p-Value	OR
Group C	Magnesium	20.2%	21.4%	19.3%	0.805	0.88 [0.33–2.36]	28.2%	15.0%	0.129	2.23 [0.82–6.01]
	Glutamine	20.2%	23.8%	17.5%	0.459	0.68 [0.25–1.82]	25.6%	16.7%	0.313	1.72 [0.64–4.63]
	Royal jelly	20.2%	26.2%	15.8%	0.217	0.53 [0.20–1.42]	25.6%	16.7%	0.313	1.72 [0.64–4.63]
	Taurine	12.1%	-	21.0%	0.001 *	-	7.7%	15.0%	0.355	0.47 [0.12–1.87]

* Statistical difference in the consume between groups ($p < 0.05$).

4. Discussion

The aim of this study was to analyze SS use in international and national level swimmers, describing the pattern of consumption according to sex and competitive level. Although previous studies [8,26,33–35] have examined SS consumption in competitive swimmers, to our knowledge, this is the first study to report on SS consumption in an extensive sample of elite level swimmers. The results of the present study show a high prevalence of SS use in competitive swimmers (86.9%) compared to other disciplines (30–95%), such as elite sailors (52%) [14] or rugby players (65.3%) [25]. These data support a higher use of SS in individual versus team sports (81% versus 58%) [36] and a prevalence similar to that of previous research on swimming [8,28,30,33,35,36].

4.1. Characteristics of SS Consumption in Competitive Swimmers

High training volume of competitive swimmers including the large number of weekly training sessions in and out the water [4] could explain the high prevalence of SS use in competitive swimmers. Contrary to expectations, no significant differences were observed between national and international level swimmers in the rate of SS consumption as has been shown in other studies [14,22]. This could be explained by the similar training volume of national and international caliber athletes, as defined by McKay et al. [37] who distinguished the elite-international and the highly trained-national by the competitive standard. Finally, no differences were observed in the prevalence of SS use according to sex, contrary to other recent studies [14,25,36] but in line with similar training volume in swimming between gender.

The main reason for SS consumption in the present sample was to improve sports performance (59.2%), regardless of gender or competitive level. This motive for SS consumption is common (45–77.8%) among elite athletes in different sports [14,32,36,38], and it is consistent with the most used type of SS in the sample, that is, caffeine, which has previously been reported to improve sports performance [21,39]. The most frequent places of purchase of SS in this study, which were well beyond the rest, were specialized shops (32%) and pharmacies (27.2%), a finding that is consistent with a recent study of elite sailors by Caraballo et al. [14]. It is worth noting that online shopping, a current trend reported in some studies [25,36], was not one of the most frequent places of purchase considering the cases of biased and unreliable information, inclusion of undeclared pharmacological substances on the label, and lack of specific legislation [27,40–43].

Although the source of information about SS should be professionals in the field (sports doctors and/or dietitians—nutritionists), swimmers in the present research chose coaches as the main source of information (40.3%) as in a very recent study in gym users by Finamore [44] and the findings in a study of German athletes [45]. This demonstrates some areas of improvement in SS consumption by competitive swimmers, since athletes who receive advice from a professional have a higher consumption of SS for which there is a high level of evidence [25]. It is noteworthy that most of the SS consumed were of category A, which suggests that the coaches of our swimmers were very well informed and instructed to advise on responsible consumption of SS to elite swimmers.

Most subjects reported consuming SS during the competitive period (66.0%), regardless of gender or level of competition. This is related to the three most consumed SS substances of caffeine, sports drinks, and sports bars as they tend to be used during competitive periods. The timing of SS consumption coincided with data reported in similar studies of elite athletes [14], although differences were observed between international and national swimmers. Higher level competitive swimmers had higher SS intake during exercise compared with the higher pre-exercise SS intake of lower level swimmers. The social environment, training regimens, and competition place great demands on elite athletes [4]; perhaps for this reason, added to the demands of the competition itself, means that the highest-level swimmers decide to resort to supplementation as an aid at the moment of greatest sporting demand. This finding in the present investigation is interesting since none of the other studies on swimmers has measured the moment of SSs [2].

The amount of SS consumed in the sample of competitive swimmers (5.45) was higher than what has been reported on fencers (3.33) [23], rugby players (3.9) [25], and sailors (3.9) [14] but lower than studies conducted with squash players (8.4) [32], rowers (16.28) [22], all elite athletes. These data support the hypothesis that there is a difference in consumption depending on the sport or sport modality [13,28,31], although we did not detect a lot of differences in SS consumption by sex [25] or competitive level [28].

4.2. Type of SS Consumption in Competitive Swimmers

When dividing SSs according to the level of evidence (AIS classification), national level men in group A had higher consumption than did women. Although women consumed more SSs in medical supplement subgroup A (0.4 vs. 1.0), these differences in consumption could be explained by the biggest differences in the sport performance subgroup (1.5 vs. 0.8). On the other hand, within the medical supplement subgroup, higher consumption was observed at the international versus the national level for men and at the national level for women as compared to men. The reason for these differences could be the inclusion of iron in the medical supplement subgroup as it has been reported to be the most consumed supplement by elite athletes in different sports [22,23,28,32,36] and specifically by women [28,36]. Iron deficiency is one of the most prevalent nutritional deficiencies in the athlete population, especially in women due to the increased demand for iron during menstruation [46,47]; it is also prevalent at the end of the competitive period [48], which is more demanding for international athletes. In addition, this supplement requires individual dispensing and appropriate sports physician/scientist supervision, so it is reasonable that international swimmers would have a higher intake.

Regarding the most consumed SS in the sample, differences were found according to sex, with men consuming more creatine and taurine and showing a tendency in the case of whey protein, and women consuming more vitamin complexes. These findings are related to those obtained in previous studies in which iron and vitamin consumption were higher for women and protein supplements (including creatine) were higher for men [28,49,50]. It is worth noting that most of the SSs consumed in the present research belonged to group A (more than 10% prevalence), which may suggest that the sample of swimmers was well informed about the most effective supplements in their sport, even if coaches were the main advisers about SSs, as mentioned above. For this reason, a good coach's training-education in this subject (with documents such as the IOC, AIS, or ISSN [13,21,51]) could be a key aspect to correctly advise their swimmers at these levels.

Finally, the present study may present certain limitations that need to be noted for a better interpretation of the results. First, the questionnaire which was used to assess the consumption of dietary supplements in elite athletes collected information retrospectively, and this could lead to inaccurate information on the number and/or type of supplements reported. Even so, although the questionnaire collects the information retrospectively, a validated and reliable questionnaire was used to assess the use of dietary supplements in athletes, as was conducted in other studies of other sports with such a questionnaire [31]. These studies are proof that, despite these small limitations, such a questionnaire should not

affect your answers, guaranteeing their accuracy. Second, it is possible that swimmers could have employed supplements but did not recognize their use at that time and, therefore, did not report their use in the questionnaire, resulting in a false negative.

The analysis of SS consumption in this study was analyzed per unit, not per quantity. The quantity should be subject to the weight of the athlete, so it is a very interesting topic for future studies.

5. Conclusions

The present study indicated a high prevalence of SS consumption in competitive swimmers compared to other disciplines, with caffeine, sports drinks, and sports bars being the most consumed SSs. Swimmers reported performance enhancement as the primary motivation for SS consumption and, consequently, SS intake was most common during the competitive period. Differences in SS consumption were observed according to the competitive level, with international level swimmers exhibiting (i) a greater consumption of SSs during exercise (and not only before or after exercise) and (ii) a greater intake of medical supplements (like iron) with a higher level of scientific evidence. In addition, differences were observed by gender in the consumption of certain SSs such as creatine and taurine or the vitamin complexes. These results provide the first evidence of SS consumption in elite swimmers and demonstrate some specific patterns according to the high demands of volume and intensity in the elite swimming training programs.

Author Contributions: Conceptualization, B.M., E.M., S.V. and A.J.S.-O., methodology, B.M., E.M., S.V., A.J.S.-O. and R.D., validation and formal analysis, A.J.S.-O. and R.D., investigation, B.M., E.M., S.V., A.J.S.-O. and R.D., data curation, B.M., E.M., S.V., A.J.S.-O. and R.D., writing—original draft preparation, B.M., E.M., S.V. and A.J.S.-O., supervision, E.M., S.V. and A.J.S.-O. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The protocol complies with the Declaration of Helsinki for human research and was approved by the Ethics Committee of the local university committee.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy restrictions.

Acknowledgments: The authors would like to thank the swimmers and coaches participating in the experiment for their valuable collaboration. The authors have no conflicts of interest to declare. The data sets generated during and/or analyzed during this study are not available to the public but can be requested from the corresponding author, who was the organizer of the study. The experiments comply with the laws in force in the country in which they were performed.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Morouço, P.G.; Marinho, D.A.; Izquierdo, M.; Neiva, H.; Marques, M.C. Relative Contribution of Arms and Legs in 30 s Fully Tethered Front Crawl Swimming. *BioMed Res. Int.* **2015**, *2015*, 1–6. [\[CrossRef\]](#)
2. Domínguez, R.; Sánchez-Oliver, A.J.; Cuenca, E.; Jodra, P.; Fernandes da Silva, S.; Mata-Ordóñez, F. Nutritional Needs in the Professional Practice of Swimming: A Review. *J. Exerc. Nutr. Biochem.* **2017**, *21*, 1–10. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Pyne, D.B.; Sharp, R.L. Physical and Energy Requirements of Competitive Swimming Events. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 351–359. [\[CrossRef\]](#)
4. Hellard, P. Elite Swimmers' Training Patterns in the 25 Weeks Prior to Their Season's Best Performances: Insights Into Periodization From a 20-Years Cohort. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 16. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Mujika, I.; Halson, S.; Burke, L.M.; Balagué, G.; Farrow, D. An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 538–561. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Cox, G.R.; Mujika, I.; van den Hoogenband, C.-R. Nutritional Recommendations for Water Polo. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 382–391. [\[CrossRef\]](#)
7. Mountjoy, M. FINA-Yakult Consensus Statement on Nutrition for the Aquatic Sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 349–350. [\[CrossRef\]](#)

8. Derave, W.; Tipton, K.D. Dietary Supplements for Aquatic Sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 437–449. [\[CrossRef\]](#)
9. Burke, L.M.; Mujika, I. Nutrition for Recovery in Aquatic Sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 425–436. [\[CrossRef\]](#)
10. Nédélec, M.; McCall, A.; Carling, C.; Legall, F.; Berthoin, S.; Dupont, G. Recovery in Soccer: Part II—Recovery Strategies. *Sports Med.* **2013**, *43*, 9–22. [\[CrossRef\]](#)
11. Heaton, L.E.; Davis, J.K.; Rawson, E.S.; Nuccio, R.P.; Witard, O.C.; Stein, K.W.; Baar, K.; Carter, J.M.; Baker, L.B. Selected In-Season Nutritional Strategies to Enhance Recovery for Team Sport Athletes: A Practical Overview. *Sports Med.* **2017**, *47*, 2201–2218. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. López-Samanes, Á.; Ortega Fonseca, J.F.; Fernández Elías, V.E.; Borreani, S.; Maté-Muñoz, J.L.; Kovacs, M.S. Nutritional Ergogenic Aids in Tennis: A Brief Review. *Strength Cond. J.* **2015**, *37*, 1–11. [\[CrossRef\]](#)
13. 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. [\[CrossRef\]](#)
14. Caraballo, I.; Domínguez, R.; Guerra-Hernandez, E.J.; Sánchez-Oliver, A.J. Analysis of Sports Supplements Consumption in Young Spanish Elite Dinghy Sailors. *Nutrients* **2020**, *12*, 993. [\[CrossRef\]](#)
15. Maughan, R.J.; Shirreffs, S.M.; Vernec, A. Making Decisions About Supplement Use. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2018**, *28*, 212–219. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
16. 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. [\[CrossRef\]](#)
17. Carr, A.J.; Hopkins, W.G.; Gore, C.J. Effects of Acute Alkalosis and Acidosis on Performance: A Meta-Analysis. *Sports Med.* **2011**, *41*, 801–814. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
18. Brewer, C.P.; Dawson, B.; Wallman, K.E.; Guelfi, K.J. Effect of Sodium Phosphate Supplementation on Cycling Time Trial Perform—A and VO2 1 and 8 Days Post Loading. *J. Sports Sci. Med.* **2014**, *13*, 529–534.
19. West, J.S.; Ayton, T.; Wallman, K.E.; Guelfi, K.J. The Effect of 6 Days of Sodium Phosphate Supplementation on Appetite, Energy Intake, and Aerobic Capacity in Trained Men and Women. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2012**, *22*, 422–429. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. Yu, G.; Zhou, J.; Shen, J.; Tang, G.; Huang, F. Cationic Pillar[6]Arene/ATP Host–Guest Recognition: Selectivity, Inhibition of ATP Hydrolysis, and Application in Multidrug Resistance Treatment. *Chem. Sci.* **2016**, *7*, 4073–4078. [\[CrossRef\]](#)
21. AIS, A.I. of S. The AIS Sports Supplement Framework 2021. Available online: <https://www.ais.gov.au/nutrition> (accessed on 8 February 2022).
22. Domínguez, R.; López-Domínguez, R.; López-Samanes, Á.; Gené, P.; González-Jurado, J.A.; Sánchez-Oliver, A.J. Analysis of Sport Supplement Consumption and Body Composition in Spanish Elite Rowers. *Nutrients* **2020**, *12*, 3871. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Mata, F.; Domínguez, R.; López-Samanes, Á.; Sánchez-Gómez, Á.; Jodra, P.; Sánchez-Oliver, A.J. Analysis of the Consumption of Sports Supplements in Elite Fencers According to Sex and Competitive Level. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* **2021**, *13*, 50. [\[CrossRef\]](#)
24. Muñoz, A.; López-Samanes, Á.; Pérez-López, A.; Aguilar-Navarro, M.; Moreno-Herederó, B.; Rivilla-García, J.; González-Frutos, P.; Pino-Ortega, J.; Morencos, E.; Del Coso, J. Effects of Caffeine Ingestion on Physical Performance in Elite Women Handball Players: A Randomized, Controlled Study. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2020**, *15*, 1406–1413. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Sánchez-Oliver, A.J.; Domínguez, R.; López-Tapia, P.; Tobal, F.M.; Jodra, P.; Montoya, J.J.; Guerra-Hernández, E.J.; Ramos-Álvarez, J.J. A Survey on Dietary Supplement Consumption in Amateur and Professional Rugby Players. *Foods* **2020**, *10*, 7. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. de Silva, A.; Samarasinghe, Y.; Senanayake, D.; Lanerolle, P. Dietary Supplement Intake in National-Level Sri Lankan Athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2010**, *20*, 15–20. [\[CrossRef\]](#)
27. Sánchez-Oliver, A.J.; Grimaldi-Puyana, M.; Domínguez, R. Evaluation and Behavior of Spanish Bodybuilders: Doping and Sports Supplements. *Biomolecules* **2019**, *9*, 122. [\[CrossRef\]](#)
28. 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. *Sports Med.* **2016**, *46*, 103–123. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Shaw, G.; Boyd, K.T.; Burke, L.M.; Koivisto, A. Nutrition for Swimming. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2014**, *24*, 360–372. [\[CrossRef\]](#)
30. Corrigan, B.; Kazlauskas, R. Medication Use in Athletes Selected for Doping Control at the Sydney Olympics (2000). *Clin. J. Sport Med.* **2003**, *13*, 33–40. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
31. Sánchez Oliver, A.J. Suplementación Nutricional En La Actividad Físico-Deportiva: Análisis de La Calidad Del Suplemento Proteico Consumido. Doctoral Thesis, University of Granada, Granada, Spain, 2012.
32. Ventura Comes, A.; Sánchez-Oliver, A.; Martínez-Sanz, J.; Domínguez, R. Analysis of Nutritional Supplements Consumption by Squash Players. *Nutrients* **2018**, *10*, 1341. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Shaw, G.; Slater, G.; Burke, L.M. Supplement Use of Elite Australian Swimmers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2016**, *26*, 249–258. [\[CrossRef\]](#)
34. Dascombe, B.J.; Karunaratna, M.; Cartoon, J.; Fergie, B.; Goodman, C. Nutritional Supplementation Habits and Perceptions of Elite Athletes within a State-Based Sporting Institute. *J. Sci. Med. Sport* **2010**, *13*, 274–280. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
35. Shaw, G.; Slater, G.; Burke, L.M. Changes in the Supplementation Practices of Elite Australian Swimmers over 11 Years. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2016**, *26*, 565–571. [\[CrossRef\]](#)

36. Baltazar-Martins, G.; Brito de Souza, D.; Aguilar-Navarro, M.; Muñoz-Guerra, J.; Plata, M.D.M.; Del Coso, J. Prevalence and Patterns of Dietary Supplement Use in Elite Spanish Athletes. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* **2019**, *16*. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
37. McKay, A.K.A.; Stellingwerff, T.; Smith, E.S.; Martin, D.T.; Mujika, I.; Goosey-Tolfrey, V.L.; Sheppard, J.; Burke, L.M. Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2022**, *17*, 317–331. [\[CrossRef\]](#)
38. López-Domínguez, R.; Sánchez-Oliver, A.J. Uso de suplementos nutricionales deportivos en remeros de elite: Diferencias entre nacionales e internacionales. *Retos Nuevas Tend. Educ. Física Deporte Recreación* **2018**, *34*, 272–275.
39. Spriet, L.L. Exercise and Sport Performance with Low Doses of Caffeine. *Sports Med.* **2014**, *44*, 175–184. [\[CrossRef\]](#)
40. Bjelica, A.; Aleksić, S.; Goločorbin-Kon, S.; Sazdanić, D.; Torović, L.; Cvejić, J. Internet Marketing of Cardioprotective Dietary Supplements. *J. Altern. Complement. Med.* **2020**, *26*, 204–211. [\[CrossRef\]](#)
41. Tian, H.H.; Ong, W.S.; Tan, C.L. Nutritional Supplement Use among University Athletes in Singapore. *Singap. Med. J.* **2009**, *50*, 165–172.
42. Jordan, M.A.; Haywood, T. Evaluation of Internet Websites Marketing Herbal Weight-Loss Supplements to Consumers. *J. Altern. Complement. Med.* **2007**, *13*, 1035–1043. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
43. Martínez-Sanz, J.; Sospedra, I.; Ortiz, C.; Baladía, E.; Gil-Izquierdo, A.; Ortiz-Moncada, R. Intended or Unintended Doping? A Review of the Presence of Doping Substances in Dietary Supplements Used in Sports. *Nutrients* **2017**, *9*, 1093. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
44. Finamore, A.; Benvenuti, L.; De Santis, A.; Cinti, S.; Rossi, L. Sportsmen's Attitude towards Dietary Supplements and Nutrition Knowledge: An Investigation in Selected Roman Area Gyms. *Nutrients* **2022**, *14*, 945. [\[CrossRef\]](#)
45. Wardenaar, F.C.; Ceelen, I.J.; Van Dijk, J.-W.; Hangelbroek, R.W.; Van Roy, L.; Van der Pouw, B.; De Vries, J.H.; Mensink, M.; Witkamp, R.F. Nutritional Supplement Use by Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Does Receiving Dietary Counseling Make a Difference? *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2016**, *27*, 32–42. [\[CrossRef\]](#)
46. DellaValle, D.M.; Haas, J.D. Impact of Iron Depletion Without Anemia on Performance in Trained Endurance Athletes at the Beginning of a Training Season: A Study of Female Collegiate Rowers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2011**, *21*, 501–506. [\[CrossRef\]](#)
47. Domínguez, R.; Sánchez-Oliver, A.; Mata-Ordoñez, F.; Fera-Madueño, A.; Grimaldi-Puyana, M.; López-Samanes, Á.; Pérez-López, A. Effects of an Acute Exercise Bout on Serum Haptoglobin Levels. *Nutrients* **2018**, *10*, 209. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
48. Reinke, S.; Taylor, W.R.; Duda, G.N.; von Haehling, S.; Reinke, P.; Volk, H.-D.; Anker, S.D.; Doehner, W. Absolute and Functional Iron Deficiency in Professional Athletes during Training and Recovery. *Int. J. Cardiol.* **2012**, *156*, 186–191. [\[CrossRef\]](#)
49. Sánchez Oliver, A.J.; Miranda León, M.T.; Hernández, E.G. Estudio estadístico del consumo de suplementos nutricionales y dietéticos en gimnasios. *Arch. Lat. Nutr.* **2008**, *58*, 221–227.
50. Sánchez Oliver, A.J.; Miranda León, M.T.; Guerra Hernández, E. Prevalence Of protein Supplement Use at Gyms. *Nutr. Hosp.* **2011**, *26*, 1168–1174. [\[CrossRef\]](#)
51. 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. Sports Nutr.* **2018**, *15*, 38. [\[CrossRef\]](#)

5.2. Estudio 2

Efectos de la ingesta de zumo de remolacha en el rendimiento repetido de nadadores de competición.

Moreno, B., Morencos, E., Vicente-Campos, D., Muñoz, A., González-García, J., & Veiga, S. (2023). Effects of beetroot juice intake on repeated performance of competitive swimmers. *Frontiers in Physiology*, 13, 1076295.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1076295>



OPEN ACCESS

EDITED BY
Fabrice Christian Joullia,
Université de Toulon, France

REVIEWED BY
Kristin L. Jonvik,
Norwegian School of Sport Sciences,
Norway
Iahtisham-Ul-Haq,
Forman Christian College, Pakistan

*CORRESPONDENCE
Santiago Veiga,
✉ santiago.veiga@upm.es

SPECIALTY SECTION
This article was submitted to Exercise
Physiology,
a section of the journal
Frontiers in Physiology

RECEIVED 21 October 2022
ACCEPTED 28 December 2022
PUBLISHED 10 January 2023

CITATION
Moreno B, Morencos E,
Vicente-Campos D, Muñoz A,
González-García J and Veiga S (2023).
Effects of beetroot juice intake on
repeated performance of
competitive swimmers.
Front. Physiol. 13:1076295.
doi: 10.3389/fphys.2022.1076295

COPYRIGHT
© 2023 Moreno, Morencos, Vicente-
Campos, Muñoz, González-García and
Veiga. This is an open-access article
distributed under the terms of the [Creative
Commons Attribution License \(CC BY\)](#).
The use, distribution or reproduction in
other forums is permitted, provided the
original author(s) and the copyright
owner(s) are credited and that the original
publication in this journal is cited, in
accordance with accepted academic
practice. No use, distribution or
reproduction is permitted which does not
comply with these terms.

Effects of beetroot juice intake on repeated performance of competitive swimmers

Berta Moreno^{1,2}, Esther Morencos¹, Davinia Vicente-Campos¹,
Alejandro Muñoz¹, Jaime González-García¹ and Santiago Veiga^{2*}

¹Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Francisco de Vitoria, Pozuelo de Alarcón, Spain.

²Departamento de Deportes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

Background: Beetroot juice is a sport supplement with a high level of evidence on the physical performance enhancement. However, in swimming, there is no clear data about the effects of beetroot juice on performance.

Objective: To investigate whether an acute intake of beetroot juice (BJ) improves the performance of competitive swimmers in a repeated maximum swimming effort.

Method: Thirteen national-level swimmers (six females and seven males), participated in this randomized, double-blind crossover study. In two different trials, swimmers ingested a 70-mL placebo shot (.04 mmol NO₃⁻; PLA) or a 70-mL Beet-It shot (6.4 mmol of NO₃⁻ beet juice [BJ]) 3 h before undergoing a 6 × 100-m front-crawl maximal effort test with 7 min rest between each 100 m.

Results: Overall, 100-m times showed no difference between the BJ and PLA groups ($p = .364$), although a possibly shorter time was observed for BJ in the last repetition ($p = .104$; mean difference [MD] = -0.99 s, mean-based inference [MBI] = 49/51/0). Participants in the BJ condition showed a possibly lower rate of perceived exertion in the first ($p = .242$, MD = -0.85 , MBI = 70/28/2) and second repetitions ($p = .165$, MD = 1.15, MBI = 83/16/1), whereas Total Quality Recovery scale scores were likely higher in the first ($p = .110$, MD = 1.15, MBI = 83/16/1) and third ($p = .082$, MD = -0.77 , MBI = 70/29/1) repetitions compared with those in the PLA group. Blood lactate concentration [La⁺] levels showed no differences between groups in any of the repetitions ($p > .05$, unclear), and we observed an increase in 100-m times for both BJ and PLA (BJ: $p = .014$, MD = -1.51 s; PLA: $p = .029$, MD = -1.57 s) after the fifth repetition.

Conclusion: No clear differences in performance were observed in a 6 × 100-m repeated sprint test by competitive swimmers when supplementing (or not) with BJ. However, there was a trend toward a better recovery between efforts and a better tolerance of fatigue when swimmers ingested BJ.

KEYWORDS

swimming, nitrate, beet, ergogenic aids, intermittent sports

1 Introduction

Swimming is a sport in which most competitive events range from 20 s to 4 min and in which swimmers must overcome the drag forces of the water to accelerate their center of mass forward. This makes strength and power production, as well as technical competence (Derave and Tipton, 2014; Muniz-Pardos et al., 2019; Muniz-Pardos et al., 2020), some of the main determinants of performance. The schedules of major swimming competitions (i.e., Olympic

Games or World Swimming Championships) are arranged for multiple participation of athletes; most events consists of two or three rounds (heats, semifinals, and finals) and the races are distributed over the course of 6 to 8 days.

The characteristics of swimming competitions somehow reflect the characteristics of elite training programs in that, even for the shorter events, they are characterized by high volumes of annual in-water training ($\approx 2,000$ – $2,500$ km) and training devoted to the 2 to ≤ 4 mmol·L⁻¹ training zone (≈ 44 – 45% of total volume) (Hellard et al., 2019). The aim of this preparation would be to highlight the athletes' swimming technical efficiency (Hellard et al., 2019) and to prepare swimmers for repeated performances at swimming events; it would include double training sessions (i.e., morning and afternoon) or a variety of intervallic training methods with efforts repeated under different recovery durations. As a result of these training characteristics, athletes including competitive swimmers usually use sports supplements and nutritional support to obtain potentially valuable contributors to success (Maughan et al., 2018). At the 2,000 Olympics, 99% of swimmers used supplements (including sports foods), and 94% used at least one non-food dietary supplement (Shaw et al., 2014). In addition, Shaw et al. (2016) identified that 97% of elite Australian swimmers reported taking supplements or sports foods during a 12-month training period. At present, 86.9% of elite swimmers have been reported to consume sports supplements, with no differences observed between men and women (Moreno et al., 2022).

In order to classify nutritional supplements according to their likelihood to provide a detectable benefit, the Australian Institute of Sport (2022) created a system for classifying supplements in different groups, from Class A (permitted and most likely to be beneficial according to evidence) to Class D (prohibited). Beetroot juice (BJ), which is included in the Class A group, has been found to have a high concentration of inorganic nitrate (NO₃⁻), and there is evidence that NO₃⁻ supplementation improves vasodilation and increases blood flow in muscle (Jones et al., 2018; McDonagh et al., 2019), specifically on the type II muscle fibers (Ferguson et al., 2013; Van De Walle and Vukovich, 2018; Jodra et al., 2019; Senefeld et al., 2020; Zamani et al., 2020). In addition, BJ intake has been found to increase the release and subsequent reuptake of calcium from the sarcoplasmic reticulum in mice (Hernández et al., 2012). This could translate into a greater muscle force production capacity of these type II muscle fibers and, therefore, into a physiological advantage for high-intensity intermittent efforts (Dominguez et al., 2018), recovery in a repeated effort, and preservation of power over several repetitions (Rojas-Valverde et al., 2021). For example, a study conducted by (Clifford et al., 2016) demonstrated an improvement in physical performance measured by countermovement jumping when supplementing with BJ. The improved blood flow during physical exercise could also contribute to the decrease in the subjective perception of effort (Jodra et al., 2019) and could be effective in situations where oxygen availability is less (Kelly et al., 2014; Flueck et al., 2016), as occurs in swimming, especially during the underwater sections (Veiga et al., 2022). However, very little research has explored the benefits of BJ supplementation in competitive swimmers, especially in relation to the repeated efforts that characterize swimming competitions.

To our knowledge, only three studies have examined the possible benefits of BJ consumption in swimmers (Pinna et al., 2014; Lowings et al., 2017; Esen et al., 2018), but none of them have yielded clear results in regard to performance. Certain physiological parameters, such as oxygen consumption (VO₂), may be hampered within the aquatic environment (Pinna et al., 2014) and the stringency of the intake protocol for BJ (Senefeld et al., 2020) may somehow limit research on this supplemental aid for swimming. Some other limitations of the existing studies, such as sample consisting of only moderately trained swimmers (Derave and Tipton, 2014; Senefeld et al., 2020), testing performed over non-competitive distances (Esen et al., 2018; Ruiz-Navarro et al., 2022), the lack of control group (Esen et al., 2018), and differences in the supplementation protocol (acute or chronic), likely have prevented researchers from drawing solid conclusions. In this context, the aim of our study was to investigate whether an acute intake of BJ improved the performance of competitive swimmers in a repeated maximal swimming effort. We hypothesized that competitive swimmers ingesting BJ would not display an overall better performance compared with a control group but that they would reveal an improvement in the psychophysiological parameters, improving the level of repeated effort.

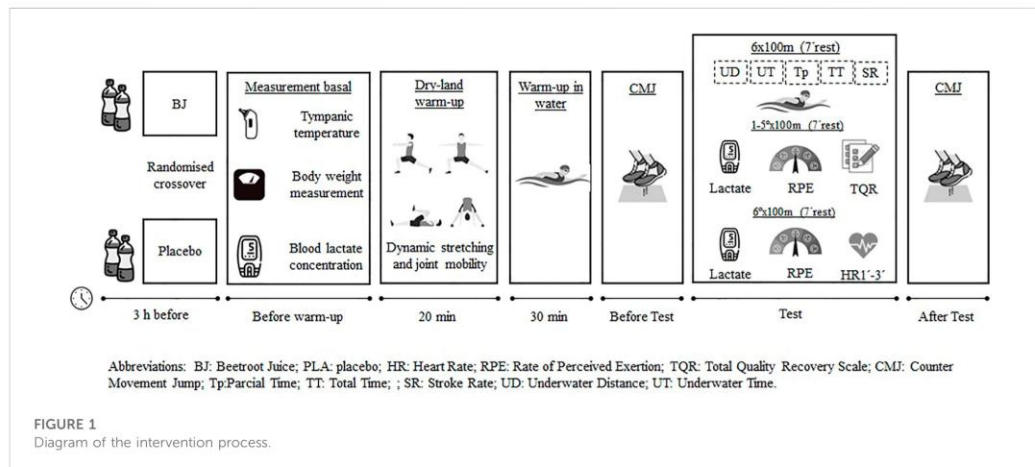
2 Materials and methods

2.1 Participants

Thirteen competitive swimmers six females (15.3 ± 1.75 years old, $1.63 \pm .08$ m, 55.41 ± 8.76 kg, and 20.90 ± 2.74 body mass index) and seven males (16.4 ± 1.4 years old, $1.76 \pm .03$ m, 63.02 ± 6.46 kg, and 20.22 ± 1.66 body mass index) participated in this study. They were part in a training plan of at least 18 h/wk in the water (approximately 40–50 km/wk), 5 h/wk of out-of-water training and had competitive experience of at least 4 years. Their average personal best times corresponded to Level 3 (national level), according to Ruiz-Navarro et al. (2022). Written informed consent was obtained from all participants and their tutors after we informed them of the method and purpose of the study. The study design and protocol were approved by the local university ethics committee (No. 42-2021) and complied with the recommendations of the Declaration of Helsinki.

2.2 Experimental design

The experiment was randomized, placebo-controlled, double-blinded, and balanced to eliminate any order effects. The ClinicalTrials.gov identifier was NCT05470231. Each participant performed two sessions separated by 18 days to allow for recovery and substance washout, in their usual training pool and under the same experimental conditions (i.e., same time of day). The trial was double-blinded, so that an external investigator assigned all participants' drinks in a counterbalanced fashion with random assignment to each supplement (Research Randomizer, <https://www.randomizer.org>). In the first session, seven swimmers ingested the BJ supplement and six ingested a placebo (PLA) whereas, in the second session, six swimmers ingested the BJ supplement and seven ingested a placebo (PLA).



2.3 Procedure

After a morning of fasting, the swimmers arrived at their usual training pool 3 h before the performance test (see Figure 1). On arrival at 7:30 a.m., they were provided with a nitrate shot containing 70 mL dose of beetroot juice with 6.4 mmol of NO_3^- (Beet-It-Pro Elite Shot, James White Drinks Ltd., Ipswich, United Kingdom) or 70 mL nitrate-depleted beetroot juice placebo (.04 mmol of NO_3^-), matched in flavour, appearance, and packaging (Beet-It-Pro Elite Shot, James White Drinks Ltd., Ipswich, United Kingdom), as described elsewhere (Domínguez et al., 2017; Senefeld et al., 2020). At the end of both trials, to determine whether they had identified on which day they had ingested the BJ and or PLA (López-Samanes et al., 2020) they were asked “What do you think you ingested?” On the first day, four participants guessed correctly what they had drunk and on the second day only one participant guessed correctly. All participants were instructed to follow a diet protocol the day before that consisted of 60% carbohydrate, 30% fat, and 10% protein (Jodra et al., 2019), and a list of foods rich in NO (e.g., beets, celery, spinach) was provided to them that they were to eliminate from their diet in the 48 h before each trial (Miraftabi et al., 2021). In addition, in the 24 h before each trial, swimmers were encouraged to avoid brushing their teeth or using any oral rinses; using chewing gum; and ingesting sweets, stimulants (e.g., caffeine), or alcohol, all of which could alter the oral microbiota and interfere with NO_3^- reduction.

After the sports supplements intake, we measured the swimmers’ body composition (Tanita B-601; Tanita Corp, Tokyo, Japan) and tympanic temperature (Thermo-Scan 7-IRT 6520; Braun, Frankfurt, Germany) to ensure similar conditions before each trial, as in other studies (Muñoz et al., 2020), and we measured their resting lactate using a Lactate Pro2 portable lactate analyzer (Arkay, Shiga, Japan). A record sheet was used to record what they had eaten for dinner the night before, so that in the next trial they could be reminded of what they had to eat for dinner again.

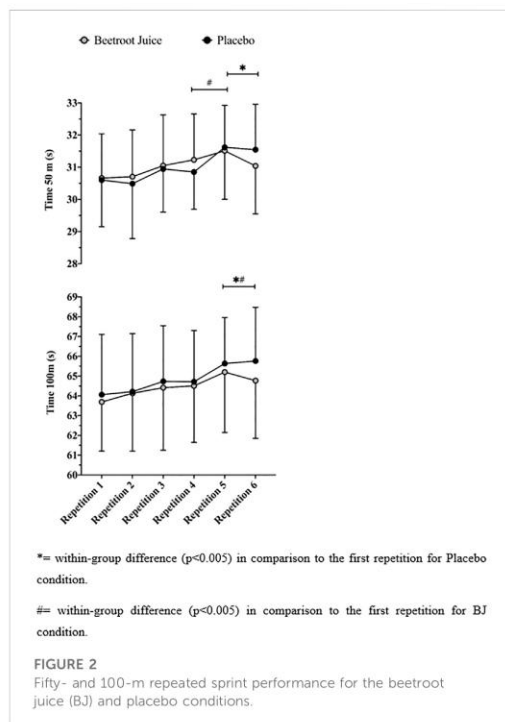
After resting values had been measured, the swimmers did a standardized dry-land warm-up consisting of dynamic stretching and joint mobility for 20 min. Afterward, the swimmers performed

another standardized warm-up in water for about 30 min, including some technique drills and descending repetitions. After the pool warm-up, swimmers completed three repetitions of Counter Movement Jump (CMJ) with hands on waist and with 45 s of passive recovery, using an infrared jumping system (Optojump Next; Microgate, Bolzano, Italy). The highest height of the three jumps was recorded.

Three hours after having ingested the BJ or PLA, the main test, consisting of six repetitions of 100-m front crawl at maximum effort from a dive start and with 7 min of passive recovery between each repeat was performed. The swimmers performed the test one by one, and two experienced coaches, whose times were averaged, took 50-m split times and 100-m total times using a Finnis Chronometer 3 × 100 digital stopwatch. One minute after completing each test repetition, blood lactate concentrations were measured with the portable Lactate Pro2 analyzer. Around 30 s after the lactate measurements, for each swimmer a rating of perceived exertion (RPE) was used with the Borg CR-10 category-ratio scale (Borg, 1982). In addition, and just before the next 100-m repetition, swimmers were asked about their recovery state using the Total Quality Recovery Scale (TQR) (Kenttä and Hassmén, 1998). Immediately after completing the last repetition of 100 m, each swimmer’s heart rate was measured for a period of 30 s using a Geonaute Oxyline-4 heart rate monitor. Finally, after the last 7-min break, the swimmers performed three CMJ jumps using the same procedure as before the 6 × 100-m test.

2.4 Data processing

The entire 6 × 100-m test was recorded at 25 Hz with a fixed JVC Model GY-HM150E video camera located on the public stands at 12.5 m from the start or turn wall and 5 m above and 10 m away from the swimmers’ lane. Using the colored buoys from floating lanes, video images were calibrated using Kinovea (Version 9.5; Joan Charmant & Contrib.) to calculate the distance and time spent by swimmers during the underwater sections of start and turns. In addition, from the video



footage the swimmers' stroking rates (cycles/min) on the second or third lap of each repetition were collected.

2.5 Statistical analysis

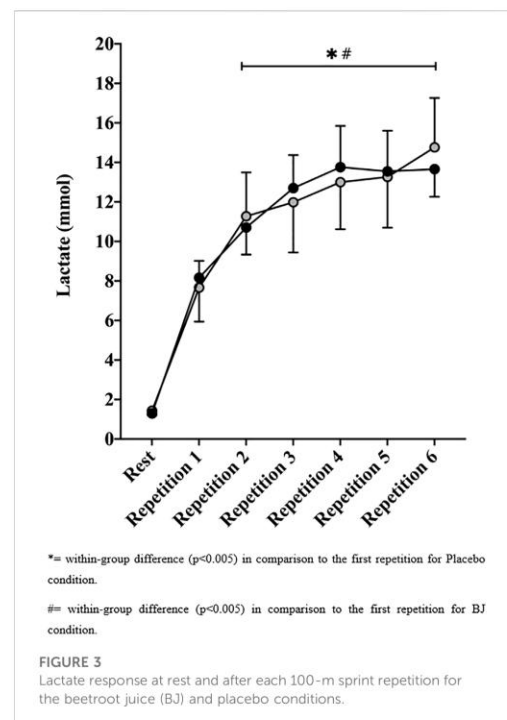
Statistical tests were carried out using IBM SPSS Statistics for Macintosh (Version 26.0; IBM Corp., Armonk, NY). We performed a Shapiro-Wilk test to determine whether the distribution of the data met the normality assumption and used a two-way repeated-measures analysis of variance to identify the effects of the BJ or PLA on the dependent variables. Variance and sphericity assumptions were checked with Levene and Mauchly tests, respectively. Partial eta-squared (η_p^2) values (classified as follows: small = .01, medium = .06, large = .14) (Cohen, 1992) were calculated, and a Bonferroni's *post hoc* test was used to check pairwise comparisons. In addition, estimated magnitudes (Cohen's d , 90% confidence intervals [CIs]) were calculated between the PLA and BJ conditions to allow a magnitude-based decision approach. We used log-transformed data to reduce non-uniformity error bias. The smallest significant standardized effect threshold was set as .2. Ranges of likelihood <1% indicated almost certainly no chance of change; 1% to 5%, very unlikely; 5% to 25%, unlikely; 25% to 75%, possible; 75% to 95%, likely; 95% to 99%, very likely; >99%, most likely. Differences were rated as unclear when likelihood exceeded 5% in both positive and negative directions. Estimated magnitudes were classified in standardized units as follows: ≤ 0.2 is trivial, ≥ 0.6 is

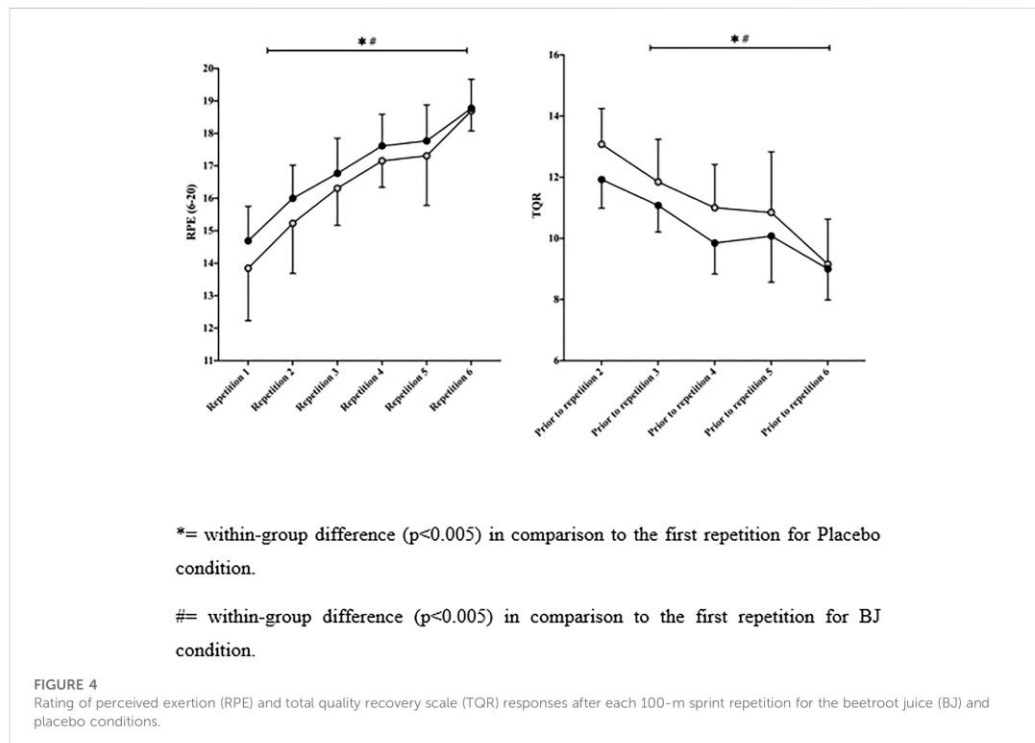
small, ≥ 0.6 –1.2 is moderate, ≥ 1.2 –2.0 is large, and ≥ 2 is very large (Hopkins et al., 2009). Results are expressed as $M \pm SD$. The significance level was set at $p < .05$.

3 Results

Overall, no differences were observed in any of the interactions (repetition * condition) of the variables analyzed ($p > .05$). Attending to pairwise comparisons, no differences in partial (50-m) or total (100-m) times (see Figure 2) were observed between the PLA and BJ conditions in any of the six repetitions ($p > .05$; effect size [ES] = -0.14 – 0.20), although a small possibly positive effect of BJ was detected on the partial ($p = .112$; mean difference [MD] = -0.51 s, [95% CI] $[-1.15, .14]$; $d = .20$, [90% CI] $[-0.01, .41]$; mean based inference [MBI] = 49/51/0) and total ($p = .104$; MD = -0.99 s, [95% CI] $[-1.15, .14]$; $d = .20$, [90% CI] $[-0.01, .40]$; MBI = 49/51/0) times of the last repetition. Compared with the first repetition, longer lengths in the partial times were observed for the PLA group in the fifth and sixth repetitions ($p = .025$; MD = -0.57 s, [95% CI] $[-1.05, -0.09]$) and for the BJ in the fourth ($p = .024$; MD = -0.57 s, [95% CI] $[-0.89, .12]$) and fifth ($p = .009$; MD = -0.85 s, [95% CI] $[-1.44, -0.09]$) repetitions. Similarly, slower 100-m times were observed after the fifth repetition for both groups (BJ: $p = .014$; MD = -1.51 s, [95% CI] $[-2.65, -0.37]$; PLA: $p = .029$; MD = -1.57 s, [95% CI] $[-2.96, -0.19]$).

Blood lactate concentrations (see Figure 3) were similar between the PLA and BJ conditions after each of the six repetitions ($p > .05$;





ES = $-.34-.24$). The evolution of blood lactate levels showed an increased concentration after each repetition in both conditions PLA ($p < .001$, MD = 6.23–13.21 mmol) and BJ ($p < .001$, MD = 6.87–2.37 mmol). There were no differences between conditions in RPE ($p > .05$; ES = $-.04-.33$) and TQR ($p > .05$; ES = $-.53-.00$) after each of the six repetitions. However, the BJ condition showed a small possibly positive effect in RPE in the first ($p = .242$; MD = $-.85$ s, [95% CI] $[-2.34, .65]$; $d = .33$, [90% CI] $[-.10, .70]$; MBI = 70/28/2) and second repetitions ($p = .165$; MD = 1.15 s, [95% CI] $[-.17, 2.48]$; $d = .44$, [90% CI] $[.01, .87]$; MBI = 83/16/1), whereas TQR values were likely higher in the first ($p = .110$; MD = 1.15 s, [95% CI] $[-.30, 2.61]$; $d = .53$, [90% CI] $[-.05, 1.12]$; MBI = 83/16/1) and third ($p = .082$; MD = $-.77$ s, [95% CI] $[-1.90, .36]$; $d = .31$, [90% CI] $[-.04, .65]$; MBI = 70/29/1) compared with the PLA condition. The evolution of RPE and TQR values indicated increased values from the first repetition in both groups (see Figure 4). No differences between groups were observed for maximum heart rate or CMJ after the 6×100 m ($p > .05$).

The underwater distance on the start was greater in the BJ condition in the first ($p = .034$; MD = .34 m, [95% CI] $[.03, .64]$; $d = .44$, [90% CI] $[.13, .75]$; MBI = 90/10/0) and fourth ($p = .0014$; MD = .38 m, [95% CI] $[.09, .66]$; $d = .34$, [90% CI] $[.13, .55]$; MBI = 87/13/0) repetitions. In contrast, no difference was observed between conditions for the turn underwater distance in any of the repetitions ($p > .179$; ES = $.01-.30$). For the BJ condition, the evolution of underwater distance indicated a greater start distance in the fourth

repetition than in the first ($p = .009$; MD = .49 m, [95% CI] $[.15, .83]$) and second ($p = .004$; MD = .41 m, [95% CI] $[.15, .66]$). For the PLA group, the start underwater distance of the third repetition was longer than the first one ($p < .028$; MD = .43–.51 m). Values of underwater velocity on the start ($p > .149$; ES = $-.03-.47$) and turn ($p > .264$; ES = $-.16-.32$) segments were similar in the BJ and PLA groups for all repetitions. BJ presented a small likely positive effect over PLA in the start underwater velocity of the first repetition (ES [95% CI] = .47 $[-.12, 1.06]$; MBI = 79/18/3). No more within-group differences were observed for both underwater velocities ($p > .05$). Similarly, there were no significant differences in stroke frequency across repetitions ($p = .704$) or between the different conditions ($p = .407$).

4 Discussion

In this study, we aimed to evaluate whether an acute intake of BJ affected the repeated performance of competitive swimmers as well as their physiological, kinematical, and psychophysiological parameters. In agreement with our hypothesis, BJ did not generally improve the swimming performance over a PLA in the six maximal swimming efforts. The BJ supplementation appeared to have a greater effect on the power generated in the 50 and 100-m times in the sixth (last) repetition (Figure 2), but the improvements observed were not significant.

Although there is lack of evidence about tests of time and intensity similar to those carried out in the present research, Franchini et al. (2016) evaluated the participation of the energy systems in four successive Wingate tests performed with upper limbs and with 3 min of passive recovery. The main findings of that study showed how the contribution of oxidative metabolism remained constant through the four tests. This could explain why the possible beneficial effect of BJ supplementation was not observed in the present study, considering the greater ergogenic potential of BJ on the oxidative pathways (Franchini et al., 2016). An understanding of the energy system contributions to upper body sprint interval exercises is only beginning and need more investigation.

The lack of overall differences in swimming performance between the BJ and PLA groups is consistent with previous research on maximal efforts at similar competitive distances of 100 m and 200 m but with a 3-day BJ supplementation period (Esen et al., 2018). However, the potential improvement of the BJ group in the fifth and sixth 100-m efforts would be in line with a previous study that detected possible beneficial effects of BJ on the second half of a 8 × 21-m effort (Lowings et al., 2017). Perhaps the improvement of muscle efficiency and contractile capacity by promoting the release of calcium from the sarcoplasmic reticulum and its reuptake into muscle cells (Bloomer et al., 2010; McMahon et al., 2017) could help increase the strength of muscle contraction in the last repetitions.

The observed blood lactate concentrations in all repetitions were higher than the resting values in both the PLA and BJ conditions, with no differences between them. These results support those of previous studies with swimmers in which no positive effect of BJ intake on lactate concentration was demonstrated (Lowings et al., 2017; Esen et al., 2018), and they are in line with previous results in other sport disciplines based on high-intensity intermittent exercise (Balsalobre-Fernández et al., 2018; Mirafitabí et al., 2021). However, previous studies have obtained lower levels in blood lactate in recreational runners when using a chronic NO_3^- supplementation during a 4-week period (Santana et al., 2019), which probably is related to a change in the energy supply from an anaerobic source to an oxidative one (Bloomer et al., 2010). It could be that the effects of NO_3^- supplementation on blood lactate rely more on a chronic supplementation period/protocol rather than on an acute intake.

Swimmers' RPE and TQR values in this study were similar between conditions during the six efforts and their associated recovery periods. Only a probable small perceived better recovery was observed for BJ in the first and third repetitions that could be related to the lower perceived effort in the first repetition (Figure 4). These results partly contradict those found in a group of elite athletes who experienced lower RPE values in a single incremental test after 15 days of BJ intake (Balsalobre-Fernández et al., 2018) and those of resistance trained students with a decreased postexercise RPE following acute BJ supplementation before a Wingate test (Jodra et al., 2019). The increase in blood flow to the frontal lobe of the brain (Presley et al., 2011), where the emotions and decision-making processes are regulated, could contribute to the subjective integration of perceived exertion (Williamson et al., 2001). In addition, the increased cerebral blood flow may have contributed to a probable small perception of a better RPE and TQR, given that reduced blood flow to the brain during exercise is related to the onset of fatigue (Oggioni et al., 2018).

The maximum heart rate values did not show significant differences between groups and, according to the results of the

RPE scale on the last repetition, 18.77 ± 1.48 for PLA and 18.69 ± 1.03 for BJ, we can confirm that the efforts of our swimmers were maximal in both conditions. Even so, our results are in line with those of other studies that used a single dose of BJ (Cermak et al., 2012) or several doses (Levitt et al., 2015; Oggioni et al., 2018) and also found no effect of BJ on heart rate. The CMJ performance was also included as a measure of strength performance, but the BJ did not improve countermovement jumping performance, as indicated in previous research in both recreational and elite athletes (López-Samanes et al., 2020; Jonvik et al., 2021) or even when combining BJ supplementation with caffeine (Berjísian et al., 2022). Jumping performance is determined, among others, by the contractile properties of the muscle and by the neuromuscular control of the entire musculoskeletal system (Bobbert and Knoek van Soest, 2001). In the same line, no effects of BJ supplementation were observed in the swimming stroke frequency of the participants, which is also mainly determined by the swimmers' strength-related ability (Morais et al., 2018).

In relation to the underwater sections of swimming efforts, the swimmers in the present study did not show large differences between the two conditions, with some improvement in the distances and average speed of the first and fourth repetition starts in the BJ condition. It has previously been reported that supplementation with BJ could have positive effects on underwater swimming performance by divers (Engan et al., 2012) because supplementation can assist in situations in which oxygen availability is less (Kelly et al., 2014; Flueck et al., 2016). However, both our results and those of Lowings et al. (2017) suggest that BJ supplementation does not particularly affect the contribution of underwater swimming to the swimming efforts of competitive swimmers. The fact that underwater distances by national-level swimmers in the present study were shorter than previously reported in 100 and 200-m front-crawl competitions (Veiga et al., 2014) probably indicates that the participants did not obtain the full potential of these underwater segments, and this could hinder BJ effects at this point.

The present findings provide interesting insights for coaches and professionals involved in competitive swimming because it is well known that time differences at the elite level are becoming increasingly narrow (Born et al., 2022) and that marginal gains may represent improvements of practical importance when it comes to medal eligibility. Therefore, despite the lack of large differences in the different physiological, biomechanical, or perceptive parameters between the BJ and PLA groups, the small effects on some of the monitored parameters could provide key insights into where some marginal gains could be achieved. Some clearer effects of the ergogenic potential of BJ could probably be observed by manipulating the work-to-rest ratios, by comparing swimmers of different expertise levels (Domínguez et al., 2018; Zamani et al., 2020), or even by including biomarkers of inflammation and muscle damage.

5 Conclusion

The results of this study indicate that acute ingestion of a dose of BJ 3 h before a 6 × 100-m test at maximum speed did not significantly affect the repeated swimming performance, lactate response, heart rate, or subjective perceived exertion of competitive swimmers. However, some possible positive effects of BJ were observed in the performance of the last repetition, as well as in some indicators of a better recovery, that could affect the marginal gains sought during competitive events. Further

research with competitive swimmers in which additional effort conditions could be manipulated should be conducted to further examine these possible beneficial effects of BJ supplementation in swimmers.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary Material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

Ethics statement

The studies involving human participants were reviewed and approved by 42-2021. Written informed consent to participate in this study was provided by the participant's legal guardian/next of kin.

Author contributions

BM, SV, EM, DV-C, and AM contributed the conception and design of the study; BM, SV, and EM organized the database; JG-G performed the statistical analysis; SV, EM, and JG-G performed the data analysis and interpreted the data. BM, SV, EM, and DV-C contributed to the preparation and critically revised the manuscript. All authors contributed to this article and approved the submitted version.

References

- AISS. Australian Institute of Sport (2022). Sports supplement framework 2019. Available at: <https://www.sportaus.gov.au/ais/nutrition/supplements> [Accessed February 8, 2022].
- Balsalobre-Fernández, C., Romero-Moraleda, B., Cupeiro, R., Peinado, A. B., Butragueño, J., and Benito, P. J. (2018). The effects of beetroot juice supplementation on exercise economy, rating of perceived exertion and running mechanics in elite distance runners: A double-blind, randomized study. *PLoS One* 13, e0200517. doi:10.1371/journal.pone.0200517
- Berjisan, E., McGawley, K., Saunders, B., Domínguez, R., Koozehchian, M. S., de Oliveira, C. V. C., et al. (2022). Acute effects of beetroot juice and caffeine co-ingestion during a team-sport-specific intermittent exercise test in semi-professional soccer players: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 14, 52. doi:10.1186/s13102-022-00441-1
- Bloomer, R. J., Farney, T. M., Trepanowski, J. F., McCarthy, C. G., Canale, R. E., and Schilling, B. K. (2010). Comparison of pre-workout nitric oxide stimulating dietary supplements on skeletal muscle oxygen saturation, blood nitrate/nitrite, lipid peroxidation, and upper body exercise performance in resistance trained men. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 7, 16. doi:10.1186/1550-2783-7-16
- Bobbert, M. F., and Knoek van Soest, A. J. (2001). Why do people jump the way they do? *Exerc Sport Sci. Rev.* 29, 95–102. doi:10.1097/00003677-200107000-00002
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc* 14, 377–381. doi:10.1249/00005768-198205000-00012
- Born, D.-P., Schönfelder, M., Logan, O., Olstad, B. H., and Romann, M. (2022). Performance development of European swimmers across the Olympic cycle. *Front. Sports Act. Living* 4, 894066. doi:10.3389/fspor.2022.894066
- Cermak, N. M., Res, P., Stinkens, R., Lundberg, J. O., Gibala, M. J., and van Loon, L. J. C. (2012). No improvement in endurance performance after a single dose of beetroot juice. *Int. J. Sport Nutr. Exerc Metab.* 22, 470–478. doi:10.1123/ijsem.22.6.470
- Clifford, T., Berntzen, B., Davison, G., West, D., Howatson, G., and Stevenson, E. (2016). Effects of beetroot juice on recovery of muscle function and performance between bouts of repeated sprint exercise. *Nutrients* 8, 506. doi:10.3390/nu8080506
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 1, 98–101. doi:10.1111/1467-8721.ep10768783
- Derave, W., and Tipton, K. D. (2014). Dietary supplements for aquatic sports. *Int. J. Sport Nutr. Exerc Metab.* 24, 437–449. doi:10.1123/ijsem.2014-0017
- Domínguez, R., Garnacho-Castaño, M., Cuenca, E., García-Fernández, P., Muñoz-González, A., de Jesús, F., et al. (2017). Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s high-intensity inertial cycle ergometer test. *Nutrients* 9, 1360. doi:10.3390/nu9121360
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., et al. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 15 (1), 2. doi:10.1186/s12970-017-0204-9
- Egan, H. K., Jones, A. M., Ehrenberg, F., and Schagatay, E. (2012). Acute dietary nitrate supplementation improves dry static apnea performance. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 182, 18253–18259. doi:10.1016/j.resp.2012.05.007
- Esen, O., Nicholas, C., Morris, M., and Bailey, S. J. (2018). No effect of beetroot juice supplementation on 100-m and 200-m swimming performance in moderately-trained swimmers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 14 (6), 706–710. doi:10.1123/ijsp.2018-0654
- Ferguson, S. K., Hirai, D. M., Copp, S. W., Holdsworth, C. T., Allen, J. D., Jones, A. M., et al. (2013). Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats: Beetroot juice and exercising muscle blood flow. *J. Physiol.* 591, 547–557. doi:10.1113/jphysiol.2012.243121
- Flueck, J. L., Bogdanova, A., Mettler, S., and Perret, C. (2016). Is beetroot juice more effective than sodium nitrate? The effects of equimolar nitrate dosages of nitrate-rich beetroot juice and sodium nitrate on oxygen consumption during exercise. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41, 421–429. doi:10.1139/apnm-2015-0458
- Franchini, E., Takito, M. Y., and Dal'Molin Kiss, M. A. P. (2016). Performance and energy systems contributions during upper-body sprint interval exercise. *J. Exerc Rehabil.* 12, 535–541. doi:10.12965/jer.1632786.393
- Hellard, P., Avalos-Fernandes, M., Lefort, G., Pla, R., Mujika, I., Toussaint, J. F., et al. (2019). Elite swimmers' training patterns in the 25 weeks prior to their season's best performances: Insights into periodization from a 20-years cohort. *Front. Physiol.* 10, 363. doi:10.3389/fphys.2019.00363
- Hernández, A., Schiffer, T. A., Ivarsson, N., Cheng, A. J., Bruton, J. D., Lundberg, J. O., et al. (2012). Dietary nitrate increases tetanic $[Ca^{2+}]_i$ and contractile force in mouse fast-twitch muscle: Dietary nitrate and contractile function. *J. Physiol.* 590 (15), 3575–3583. doi:10.1113/jphysiol.2012.232777
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc* 41, 3–13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Jodra, P., Domínguez, R., Sánchez-Oliver, A. J., Veiga-Herreros, P., and Bailey, S. J. (2019). Effect of beetroot juice supplementation on mood, perceived exertion, and performance during a 30-second Wingate test. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15 (2), 243–248. doi:10.1123/ijsp.2019-0149

Acknowledgments

We acknowledge the swimmers and coaches involved in the experiment for their valuable contribution to the study details.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Supplementary material

The Supplementary Material for this article can be found online at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.1076295/full#supplementary-material>

- Jones, A. M., Thompson, C., Wylie, L. J., and Vanhatalo, A. (2018). Dietary nitrate and physical performance. *Annu. Rev. Nutr.* 21, 303–328. doi:10.1146/annurev-nutr-082117-051622
- Jonvik, K. L., Hoogervorst, D., Peelen, H. B., de Niet, M., Verdijk, L. B., van Loon, L. J. C., et al. (2021). The impact of beetroot juice supplementation on muscular endurance, maximal strength and countermovement jump performance. *Eur. J. Sport Sci.* 21, 871–878. doi:10.1080/17461391.2020.1788649
- Kelly, J., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Wylie, L. J., Tucker, C., List, S., et al. (2014). Dietary nitrate supplementation: Effects on plasma nitrite and pulmonary O₂ uptake dynamics during exercise in hypoxia and normoxia. *Am. J. Physiol-Regul Integr. Comp. Physiol.* 307, R920–R930. doi:10.1152/ajpregu.00068.2014
- Kenttä, G., and Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery: A conceptual model. *Sports Med.* 26, 1–16. doi:10.2165/00007256-199826010-00001
- Levitt, E. L., Keen, J. T., and Wong, B. J. (2015). Augmented reflex cutaneous vasodilatation following short-term dietary nitrate supplementation in humans: Heat stress and nitrate supplementation. *Exp. Physiol.* 100, 708–718. doi:10.1113/EP085061
- López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Moreno-Pérez, V., Nakamura, F. Y., Acebes-Sánchez, J., Quintana-Milla, I., et al. (2020). Effects of beetroot juice ingestion on physical performance in highly competitive tennis players. *Nutrients* 12, 584. doi:10.3390/nu12020584
- Lowings, S., Shannon, O. M., Deighton, K., Matu, J., and Barlow, M. J. (2017). Effect of dietary nitrate supplementation on swimming performance in trained swimmers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 27, 377–384. doi:10.1123/ijnsnem.2016-0251
- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., et al. (2018). IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 28, 104–125. doi:10.1123/ijnsnem.2018-0020
- McDonagh, S. T. J., Wylie, L. J., Thompson, C., Vanhatalo, A., and Jones, A. M. (2019). Potential benefits of dietary nitrate ingestion in healthy and clinical populations: A brief review. *Eur. J. Sport Sci.* 19, 15–29. doi:10.1080/17461391.2018.1445298
- McMahon, N. F., Leveritt, M. D., and Pavey, T. G. (2017). The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 47, 735–756. doi:10.1007/s40279-016-0617-7
- Mirafabbi, H., Avazpoor, Z., Berjissian, E., Sarshin, A., Rezaei, S., Domínguez, R., et al. (2021). Effects of beetroot juice supplementation on cognitive function, aerobic and anaerobic performances of trained male taekwondo athletes: A pilot study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 10202. doi:10.3390/ijerph181910202
- Morais, J. E., Silva, A. J., Garrido, N. D., Marinho, D. A., and Barbosa, T. M. (2018). The transfer of strength and power into the stroke biomechanics of young swimmers over a 34-week period. *Eur. J. Sport Sci.* 18, 787–795. doi:10.1080/17461391.2018.1453869
- Moreno, B., Veiga, S., Sánchez-Oliver, A. J., Domínguez, R., and Morencos, E. (2022). Analysis of sport supplement consumption by competitive swimmers according to sex and competitive level. *Nutrients* 14, 3218. doi:10.3390/nu14153218
- Muniz-Pardos, B., Gomez-Bruton, A., Matute-Llorente, A., Gonzalez-Aguero, A., Gomez-Cabello, A., Gonzalo-Skok, O., et al. (2020). Nonspecific resistance training and swimming performance: Strength or power? A systematic review. *J. Strength Cond. Res.* 36, 1162–1170. doi:10.1519/JSC.0000000000003572
- Muniz-Pardos, B., Gomez-Bruton, A., Matute-Llorente, A., Gonzalez-Aguero, A., Gomez-Cabello, A., Gonzalo-Skok, O., et al. (2019). Swim-specific resistance training: A systematic review. *J. Strength Cond.* 33, 2875–2881. doi:10.1519/JSC.0000000000003256
- Muñoz, A., López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Aguilar-Navarro, M., Moreno-Herederó, B., Rivilla-García, J., et al. (2020). Effects of caffeine ingestion on physical performance in elite women handball players: A randomized, controlled study. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15, 1406–1413. doi:10.1123/ijsp.2019-0847
- Oggioni, C., Jakovljevic, D. G., Klonizakis, M., Ashor, A. W., Ruddock, A., Ranchordas, M., et al. (2018). Dietary nitrate does not modify blood pressure and cardiac output at rest and during exercise in older adults: A randomised cross-over study. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 69, 74–83. doi:10.1080/09637486.2017.1328666
- Pinna, M., Roberto, S., Milia, R., Marongiu, E., Olla, S., Loi, A., et al. (2014). Effect of beetroot juice supplementation on aerobic response during swimming. *Nutrients* 6, 605–615. doi:10.3390/nu6020605
- Presley, T. D., Morgan, A. R., Bechtold, E., Clodfelter, W., Dove, R. W., Jennings, J. M., et al. (2011). Acute effect of a high nitrate diet on brain perfusion in older adults. *Nitric Oxide* 24, 34–42. doi:10.1016/j.niox.2010.10.002
- Rojas-Valverde, D., Montoya-Rodríguez, J., Azofeifa-Mora, C., and Sanchez-Urena, B. (2021). Effectiveness of beetroot juice derived nitrates supplementation on fatigue resistance during repeated-sprints: A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61, 3395–3406. doi:10.1080/10408398.2020.1798351
- Ruiz-Navarro, J. J., López-Belmonte, O., Gay, A., Cuenca-Fernández, F., and Arellano, R. (2022). A new model of performance classification to standardize the research results in swimming. *Eur. J. Sport Sci.* 2022, 1–11. doi:10.1080/17461391.2022.2046174
- Santana, J., Madureira, D., de França, E., Rossi, F., Rodrigues, B., Fukushima, A., et al. (2019). Nitrate supplementation combined with a running training program improved time-trial performance in recreationally trained runners. *Sports* 7, 120. doi:10.3390/sports7050120
- Senefeld, J. W., Wiggins, C. C., Regimbal, R. J., Dominelli, P. B., Baker, S. E., and Joyner, M. J. (2020). Ergogenic effect of nitrate supplementation: A systematic review and meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 52, 2250–2261. doi:10.1249/MSS.00000000000002363
- Shaw, G., Boyd, K. T., Burke, L. M., and Koivisto, A. (2014). Nutrition for swimming. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 24, 360–372. doi:10.1123/ijnsnem.2014-0015
- Shaw, G., Slater, G., and Burke, L. M. (2016). Supplement use of elite Australian swimmers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 26, 249–258. doi:10.1123/ijnsnem.2015-0182
- Van De Walle, G. P., and Vukovich, M. D. (2018). The effect of nitrate supplementation on exercise tolerance and performance: A systematic review and meta-analysis. *J. Strength Cond. Res.* 32, 1796–1808. doi:10.1519/JSC.0000000000002046
- Veiga, S., Cala, A., Frutos P, G., and Navarro, E. (2014). Comparison of starts and turns of national and regional level swimmers by individualized-distance measurements. *Sports Biomech.* 13, 285–295. doi:10.1080/14763141.2014.910265
- Veiga, S., Pla, R., Qiu, X., Boudet, D., and Guimard, A. (2022). Effects of extended underwater sections on the physiological and biomechanical parameters of competitive swimmers. *Front. Physiol.* 13, 815766. doi:10.3389/fphys.2022.815766
- Williamson, J. W., McColl, R., Mathews, D., Mitchell, J. H., Raven, P. B., and Morgan, W. P. (2001). Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: Cardiovascular responses and brain activation. *J. Appl. Physiol.* 90, 1392–1399. doi:10.1152/jappl.2001.90.4.1392
- Zamani, H., de Joode, M. E. J. R., Hossein, I. J., Henkens, N. F. T., Guggeis, M. A., Berends, J. E., et al. (2020). The benefits and risks of beetroot juice consumption: A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61 (5), 788–804. doi:10.1080/10408398.2020.1746629

5.3. Estudio 3

Una dosis única de zumo de remolacha no mejora el rendimiento durante los esfuerzos de natación interválica.

Moreno-Heredero B., Morencos E., Morais J.E., Barbosa Tiago M., Veiga S. (2024). Single Dose of Beetroot Juice not Enhance Performance during Intervallic Swimming Efforts.

Journal of Sports Science and Medicine, 23, 228-235.

<https://doi.org/10.52082/jssm.2024.228>

Research article

A Single Dose of Beetroot Juice not Enhance Performance during Intervallic Swimming Efforts

Berta Moreno-Herederó ^{1,2}✉, Esther Morencos ¹, Jorge E. Morais ^{3,4}, Tiago M. Barbosa ^{3,4} and Santiago Veiga ²

¹ Exercise Physiology Group, Exercise and Sport Sciences, Faculty of Health Sciences, Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain; ² Departamento de Deportes, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, Spain; ³ Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal; ⁴ Research Centre for Active Living and Wellbeing (LiveWell), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

Abstract

Despite the numerous scientific evidence on the topic, there is no clear and consistent answer that clarifies the true effects of beetroot juice (BJ) supplementation on different types of physical performance. This study examined whether an acute intake of BJ improves swimming performance, physiological variables of anaerobic metabolism, or subjective measures during high-intensity interval exercise with incomplete rest in competitive swimmers. Eighteen competitive swimmers (nine females and nine males) participated in this cross-over randomized, placebo-controlled, double-blind and counterbalanced study. In two trials, swimmers ingested BJ (70 mL, 6.4 mmol/400 mg NO₃⁻) or placebo (PLA) (70 mL, 0.04 mmol/3 mg NO₃⁻) three hours before a 2×6×100 m maximal effort with 40 seconds rest between repetitions and three minutes between blocks. The 100 m times showed no differences between groups ($p > 0.05$), but there was an interaction between block×repetition×condition ($F_3 = 3.10$; $p = 0.046$; $\eta^2 = 0.54$), indicating that the BJ group decreased the time of the sixth repetition of block2 compared to block1 ($p = 0.01$). Lactate concentration showed no differences between conditions ($p > 0.05$), but there was a main effect of block ($\eta^2 = 0.60$) and a block×repetition interaction ($\eta^2 = 0.70$), indicating higher values in block2 and increasing values between repetitions in block1. The subjective scales, perception of exertion (RPE) and Total Quality Recovery (TQR), showed no effects of condition ($p > 0.05$), but BJ swimmers had a greater TQR in the last repetitions of each block. In conclusion, a single dose of BJ did not enhance intermittent swimming performance or modified the physiological (lactate and heart rate) or subjective (RPE and TQR) variables; although there was a possible positive effect on the exercise tolerance at the end of effort.

Key words: Nitrate, ergogenic aids, intermittent efforts, swimming performance, exercise tolerance.

Introduction

In competitive swimming, 81% of the events on the Olympic schedule are 200m races or shorter, typically lasting no more than two and a half minutes. However, in contrast to these relatively brief times, the in-water training volume of young competitive swimmers (aged 13 - 17) can traditionally range from 4,000 m to 7,000 m per session (Amara et al., 2022) with a large proportion of the weekly training volume usually performed at low intensities (Mujika, 1998). In recent years, the effects of high-intensity interval training in competitive swimmers have been investigated

and the results suggest similar performance responses compared to traditional higher volume training (Nugent et al., 2017). In a study by Clemente-Suarez, et al. (2018), after ten weeks of traditional training based on high training volume and low intensity, there was no benefit compared to ten weeks of reverse training based on lower training volume and higher intensity (Clemente-Suarez et al., 2018).

In addition to high-intensity interval work, another strategy used by athletes to improve performance is the use of sports supplements (SS), with swimmers being no exception. In a recent study, 86.9% of the sample of national and international swimmers had used SS on regular basis, with no differences between men and women (Moreno et al., 2022). Although there is a wide variety of supplements on the market, the Australian Institute of Sport (AIS) classifies them into four groups (A-B-C-D) from highest to lowest level of scientific evidence, with group A having the most evidence and group D having the least (AIS, 2022). One of the SS that the AIS classifies as Group A is dietary nitrate. Nitrate is continuously produced in our bodies as a result of the oxidation of the amino acid arginine to nitric oxide (NO) (Silva et al., 2022).

There is reason to believe that improving NO bioavailability by increasing the nitrate-nitrite-NO pathway may influence muscle function and exercise performance (Jones et al., 2003). Nitrate and nitrite are the main substrates to produce NO via the NO synthase (NOS)-independent pathway. Inhibition of NOS, which would reduce endogenous NO production, could regulate blood flow and increase oxygen consumption (Bescós et al., 2012). In addition, it has been suggested that L-citrulline could be an alternative NO donor in the NOS-dependent pathway, as it can increase L-arginine levels, which is also a participant in the NOS-dependent pathway (Bescós et al., 2012) and could improve the respiratory response and the maximal power in relation to body mass (Koppo et al., 2009). Increasing dietary nitrate intake or using a nitrate supplement, such as beetroot juice (BJ), may increase NO bioavailability and have the potential to improve exercise performance in situations where NO production may be impaired (Lowings et al., 2017), like in high-intensity intervallic efforts with a predominant oxidative metabolism (Domínguez et al., 2018). In fact, the levels of nitrate intake reported in humans through diet are much lower than those ingested with a 70 mL nitrate shot, as was the case in our

study (Jonvik et al., 2017). There is evidence that nitrate supplementation may be particularly effective in reducing muscle fatigue associated with high-intensity exercise by a selective physiological efficacy of nitrates in type II (fast twitch) muscle (Jones et al., 2016). The nitrate supplementation may help to restore the phosphocreatine stores, prevent their depletion during repeated efforts and limit the accumulation of metabolites such as adenosine diphosphate (ADP) and inorganic phosphates, which are known to induce muscle fatigue (Domínguez et al., 2018). Consequently, the use of BJ could have ergogenic effects that may increase time to exhaustion and, therefore, exercise tolerance (Bailey et al., 2009).

At present, there is no clear and consistent answer that clarifies the true effects of BJ on physical performance, as many studies have been based on lesser-trained athletes and differ in experimental design in terms of type of physical exertion, recovery times, and intake protocol. A systematic review of nine articles on the effects of beet juice supplementation showed that both acute and chronic supplementation can improve performance during high-intensity, intermittent exercise with short rest periods (Domínguez et al., 2018). Wylie et al. (2016) also found that BJ could be ergogenic during repeated short duration sets of maximal intensity cycling sprints, interspersed with short recovery periods (Wylie et al., 2016). On the other hand, during a 15-second cycling bout at 170% of maximal aerobic power output interspersed with 30-second passive recovery periods, Pawlak-Chaouch et al. (2019) reported that BJ supplementation did not increase tolerance to supramaximal intensity intermittent exercise. Specifically in the sport of swimming, few studies have examined the effects of BJ intake despite the specific characteristics of the sport (with a partial hypoxia in nature and a more dominant use of upper-limbs for propulsion) that could enhance or at least modify the responses to BJ supplementation (Muggeridge et al., 2013; Patrician and Schagatay, 2017). With a similar intake protocol, Pinna et al. (2014) observed significant improvement in exercise tolerance during a swimming test to exhaustion with a chronic BJ intake, while Esen et al. (2018) and Lowings et al., (2017) did not obtain significant improvements in time trials over 100 and 200m front-crawl or 168m backstroke performance, respectively. During a repeated swimming effort of 6x100m with seven minutes rest, and following an acute BJ ingestion, Moreno et al. (Moreno et al., 2023) failed to show significant improvements in 100m times; although, no information is available for repeated efforts with reduced recovery times as typically employed by swimmers during training blocks.

Given the controversial results on the effects of BJ ingestion on performance, but considering the possible effect during high-intensity intermittent exercise with short rest periods in other sport disciplines than swimming (Domínguez et al., 2018), the aim of our study was to examine whether an acute intake of BJ improves swimming performance, physiological variables of anaerobic metabolism, or subjective measures during high-intensity interval exercise with incomplete rest in competitive swimmers. In this regard, we hypothesized that an acute BJ ingestion protocol could show an improvement in overall performance or, at least, in the exercise tolerance compared to the

control group during a high-intensity intermittent swimming effort with incomplete rests.

Methods

Participants

Eighteen competitive swimmers, nine females (17.11 ± 1.05 years old, 1.71 ± 1.41 m and 55 ± 1.41 kg) and nine males (17.00 ± 1.32 years old, 1.78 ± 8.29 m and 69.33 ± 10.02 kg) participated in this study. They were part of a training program of at least 18 hours per week in the water (approximately 40 - 50 km/week), 5 hours per week out of the water, and had at least 4 years of competitive experience. Their average personal best times corresponded to level 3 (national level) according to Ruiz-Navarro et al. (Ruiz-Navarro et al., 2023). Written informed consent was obtained from all participants and their legal guardians after they were informed of the method and purpose of the study. The experimental protocol was approved by the local University Ethics Committee (No. 79/2022) and complied with the recommendations of the Declaration of Helsinki.

Experimental design

The experiment was a cross-over study with randomized, placebo-controlled, double-blind, and counterbalanced design. An external researcher randomized the drinks of all participants to eliminate any order effects (Research Randomizer, <https://www.randomizer.org>). The ClinicalTrials.gov identifier was NCT05657093. In the first session, ten swimmers consumed the BJ supplement and eight consumed a placebo (PLA). Each participant completed two sessions, separated by 7 days to allow for recovery and washout of the substance, in their usual training pool and under the same experimental conditions (i.e., same time of day). The pool was indoor, 50x25 meters, with a water temperature of 27°C on both days.

Procedure

In both experimental conditions, the swimmers ingested the Beetroot Juice (BJ) in a pocket-sized delivers; BJ (70 mL, 6.4 mmol/400 mg NO₃⁻; Beet-It-Pro Elite Shot; James White Drinks Ltd., Ipswich, UK) or PLA (70 mL, 0.04 mmol/3 mg NO₃⁻), matched in flavour, dosage, appearance, and packaging as described elsewhere (Cuenca et al., 2018; López-Samanes et al., 2020). In line with previous studies (Cuenca et al., 2018; López-Samanes et al., 2020; Silva et al., 2022), the juice intake was done for all swimmers three hours before the swimming test (Figure 1). This ensured a peak of nitrate levels during the exercise test, as reported in Wylie et al. (2013). The day before the test, swimmers followed an intake protocol of approximately 60% carbohydrate, 30% fat and 10% protein, with a list of NO₃-rich foods (e.g., beets, celery, spinach) to be eliminated from the diet (López-Samanes et al., 2020). In addition, swimmers avoided brushing their teeth, using mouthwash, chewing gum, and consuming sweets, stimulants (e.g., caffeine), or alcohol, all of which could alter the oral microbiota and interfere with NO₃⁻ reduction, for 24 h prior to the experiments (López-Samanes et al., 2020). To determine whether participants had identified which day they had ingested the BJ and/or PLA they were asked

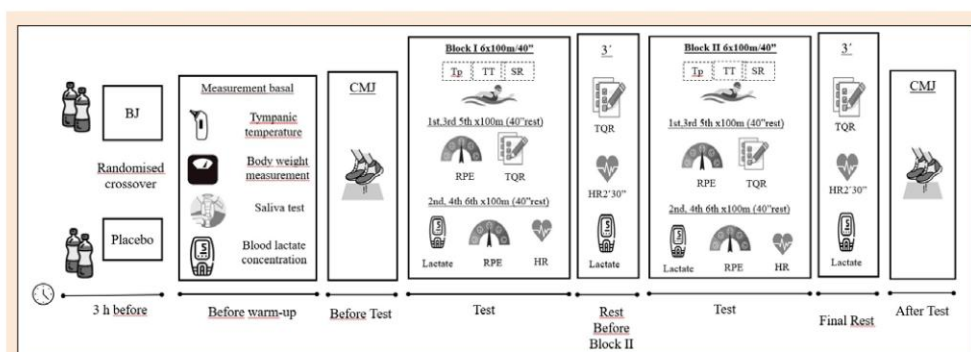


Figure 1. Diagram of the intervention procedure. BJ: Beetroot Juice; PLA: placebo; HR: Heart Rate; RPE: Rate of Perceived Exertion; TQR: Total Quality Recovery Scale; CMJ: Counter Movement Jump; Tp: Partial Time; TT: Total Time; SR: Stroke Rate.

"What do you think you ingested?" at the end of each condition (López-Samanes et al., 2020). Less than half of the participants correctly guessed which group they belonged to.

Before starting the swimming test, the swimmers' resting lactate was measured (Lactate Pro2 lactate analyzer; Arkray, Shiga, Japan) to ensure similar baseline conditions before each test. A record sheet was used to record what the swimmers had for dinner the night before the experiment, so that they could be reminded of this before the second experiment.

After the resting values were measured, the swimmers performed 3 repetitions of the counter movement jump (CMJ) with hands on waist and 45 s of passive recovery using an infrared jump system (Optojump Next; Microgate, Bolzano, Italy). This CMJ measure was included as an indicator of general fatigue (Gathercole et al., 2015). The swimming test consisted of 2 blocks of 6 × 100 m front crawl at maximal effort with push start (Trinidad et al., 2022). Recovery time between 100m repetitions was 40 seconds, while a rest period of 3 minutes was allowed between the first and second blocks. To ensure accurate timing, two experienced coaches recorded split and total times for each 100m repetition, which were then given to the swimmers during the recovery period. The Finnis Chronometer 3×100 digital stopwatch (Seiko SVAS003, Seiko Watch Corporation, Japan) was utilized to record and average the times. This training set represented a typical training exercise for middle-distance competitive swimmers when aiming for intensity zones 3 and 4 (above 4 mmol.L⁻¹), as previously reported (Hellard et al., 2017).

Blood lactate concentrations were measured twice. During the even repetitions, when the swimmers completed the repetition, and during the three minutes rest period before the start of block 2. Heart rate was also measured with a Geonaute Oxyline-4 heart rate monitor at the end of each block and also after the rest period before the start of the next block.

The perceived exertion scale (RPE) with Borg's CR-10 category ratio scale was given to the swimmers on a laminated board so that they could identify their perceived exertion at the end of the repetition (Borg, 1982). The recovery quality scale (TQR) with Kentta's scale was

measured after each 100 m repetition, just before the start of the next repetition (Kenttä and Hassmén, 1998). Finally, the swimmers performed three CMJ jumps after the test, following the same procedure as before the test.

Statistical analysis

Statistical tests were performed using IBM SPSS Statistics for Macintosh (version 26.0; IBM Corp., Armonk, NY). Assuming an alpha level of 0.05 and β of 0.80, the sample size was estimated at 18 participants using G*Power software (Faul et al., 2007). A Shapiro-Wilk test was performed to determine whether the distribution of the data met the assumption of normality. A three-way repeated measures analysis of variance (condition: BJ or PLA, block: first or second, repetition: first to sixth) was then used to identify effects on the dependent variables. Assumptions of variance and sphericity were tested using Levene's and Mauchly's tests, respectively. Partial eta squared (η^2) was used as an effect size indicator, and it was classified as 0.01 - 0.1 small effect, 0.11 - 0.15 medium effect, and 0.16 - 1 large effect (Pierce et al., 2004). Bonferroni post hoc test was used to check pairwise comparisons. The significance level was set at $p < 0.05$.

Results

Overall, the partial and total times during the 2 × 6 × 100 m test showed no differences ($p > 0.05$) between the PLA and BJ conditions. However, for total times, there was a block×repetition×condition interaction ($F_5 = 3.10$; $p = 0.046$; $\eta^2 = 0.54$), suggesting that swimmers in the BJ group reduced the time of the sixth repetition of block 2 compared to block 1 ($p = 0.011$) (Figure 2). In addition, there was a main effect of repetitions on both partial ($F_5 = 10.45$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.80$) and total ($F_5 = 11.71$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.82$) times, pointing out that swimmers in the BJ group performed longer times in the second through fifth repetitions compared to the first (all $p < 0.005$) in the total times of block 2.

There were no differences between conditions in blood lactate concentrations measured at the end of the 100 m paired repetitions ($p > 0.05$) (Table 1). The main effects were between blocks ($F_1 = 19.79$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.60$),

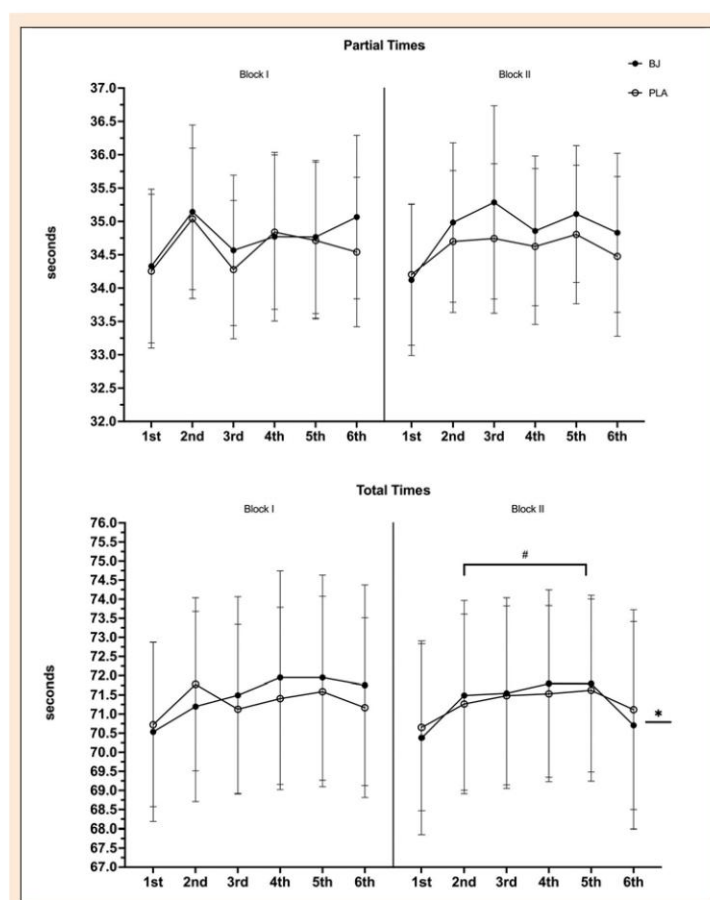


Figure 2. Total and partial times (mean $\pm$ standard deviation) of competitive swimmers in BJ and PLA conditions during a 2 x 6 x 100m test. BJ: beetroot juice; PLA: placebo. *Difference between blocks for the 6th repetition in condition BJ. #Significant differences with respect to the 1st repetition.

Table 1. Physiological variables (mean $\pm$ standard deviation) in beetroot juice (BJ) and placebo (PLA) conditions in a 2 x 6 x 100m swim test.

		Block 1			
		2nd	4th	6th	Rest
Lactate	BJ	4.93 $\pm$ 1.95*	7.31 $\pm$ 2.60#*	8.99 $\pm$ 2.67#*	8.15 $\pm$ 2.97
	PLA	5.67 $\pm$ 2.20*	7.14 $\pm$ 2.70*	8.36 $\pm$ 2.21#	7.27 $\pm$ 2.48*#
Heart rate	BJ			157.29 $\pm$ 12.11	114.29 $\pm$ 10.61#
	PLA			154.71 $\pm$ 21.75	110.71 $\pm$ 9.13#
		Block 2			
		2nd	4th	6th	Rest
Lactate	BJ	9.56 $\pm$ 3.32	10.16 $\pm$ 3.77	11.05 $\pm$ 3.81	9.77 $\pm$ 4.28
	PLA	9.11 $\pm$ 2.96	9.09 $\pm$ 2.67	9.91 $\pm$ 4.10	9.23 $\pm$ 3.64
Heart rate	BJ			160.06 $\pm$ 21.33	110.71 $\pm$ 9.13#
	PLA			157.24 $\pm$ 13.35	111 $\pm$ 9.9#

* Different values ($p < 0.05$) than block 2 in the same condition. # Different values ($p < 0.05$) from previous repetition in the same block and condition.

between repetitions ($F_3 = 9.57$; $p = 0.002$; $\eta^2 = 0.72$) and between block $\times$ repetition interaction ($F = 8.52$; $p = 0.003$; $\eta^2 = 0.70$), being lactate concentrations higher in all repetitions of block 2 compared to block 1 (except for the 6th repetition of the PLA condition) and increasing lactate

values between repetitions were detected only in block 1. For heart rate and CMJ (Pre-Post Δ_{PLA} 1.64 $\pm$ 2.77cm; Δ_{BJ} 0.84 $\pm$ 2.31cm), no variations were found between conditions ($p > 0.05$), although the resting values for HR were lower than the values at the end of the sixth repetition of

each block (Table 1).

In the cases of RPE and TQR variables, no main effects of condition were detected ($p > 0.05$). However, there was a block ($F_1 = 31.83$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.68$ for RPE and $F_1 = 22.40$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.58$ for TQR), repetition ($F_5 = 31.26$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.93$ for RPE and $F_1 = 10.72$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.82$ for TQR), and block $\times$ repetition interaction ($F_5 = 7.19$; $p = 0.003$; $\eta^2 = 0.77$ for RPE). RPE was lower in all repetitions of block 1 compared to block 2 (except for the first and second repetitions of the BJ condition) and no changes in RPE were detected between repetitions

of block 1 for the BJ group and between repetitions of block 2 for the PLA group (Table 2). As far TQR scale is concerned, post hoc comparisons revealed no changes in recovery perception between consecutive repetitions for BJ swimmers, but a lower recovery perception for PLA swimmers in the sixth repetition of block 1 and in the fifth and sixth repetitions of block 2. In addition, all swimmers showed a lower recovery perception before the third, fourth and fifth repetitions of block 2 compared to block 1 (Table 2).

Table 2. Descriptive data of the RPE and TQR subjective scales (mean $\pm$ standard deviation) in the beetroot juice (BJ) and placebo (PLA) conditions in a 2 x 6 x 100m swimming test.

		Block 1					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th/Rest
RPE	BJ	13.22 $\pm$ 2.30	14.11 $\pm$ 2.90	14.39 $\pm$ 2.83*	15.11 $\pm$ 2.56*	15.61 $\pm$ 2.50*	16.28 $\pm$ 2.10*
	PLA	11.38 $\pm$ 2.72*	13.06 $\pm$ 2.46#*	14.22 $\pm$ 2.13*	14.83 $\pm$ 2.20*	15.33 $\pm$ 2.00*	16.06 $\pm$ 1.62*
TQR	BJ	13.47 $\pm$ 3.47	13.18 $\pm$ 3.41	12.53 $\pm$ 3.00*	11.88 $\pm$ 2.7*	12.94 $\pm$ 3.07*	13.65 $\pm$ 3.16
	PLA	14.12 $\pm$ 3.00	13.41 $\pm$ 2.58	12.35 $\pm$ 2.29*	12.12 $\pm$ 2.7*	11.47 $\pm$ 2.21*	14.47 $\pm$ 2.93#
		Block 2					
RPE	BJ	14.33 $\pm$ 2.30	14.72 $\pm$ 2.08	16.83 $\pm$ 1.72#	17.00 $\pm$ 2.08	17.78 $\pm$ 1.48#	18.44 $\pm$ 1.38#
	PLA	15.22 $\pm$ 2.04	15.06 $\pm$ 2.38	17.00 $\pm$ 2.10	17.11 $\pm$ 1.78	17.56 $\pm$ 1.85	18.22 $\pm$ 1.73
TQR	BJ	13.06 $\pm$ 2.41	12.18 $\pm$ 2.98	10.76 $\pm$ 2.14	10.12 $\pm$ 2.18	9.71 $\pm$ 2.14	12.00 $\pm$ 3.52
	PLA	13.00 $\pm$ 2.83	12.06 $\pm$ 2.51	11.00 $\pm$ 2.94	9.88 $\pm$ 2.32	9.24 $\pm$ 2.11#	13.59 $\pm$ 2.57#

*Different values ($p < 0.05$) than block 2 in the same condition. #Different values ($p < 0.05$) from previous repetition in the same block and condition.

Discussion

The aim of the present study was to determine whether an acute intake of BJ could improve performance during a high-intensity intermittent effort in competitive swimmers. The results did not confirm any overall performance differences between the PLA and BJ groups. However, there was a potential ergogenic effect on exercise tolerance at the end of interval exercise.

Competitive swimmers in the present study performed 100m swim repetitions in an average time of 75 to 73 seconds for females and 68 to 66 seconds for males, with no differences regardless of BJ or PLA conditions. This is consistent with previous studies in swimming, which found no beneficial effects on swimmers' performance after BJ ingestion (Lowings et al., 2017; Esen et al., 2018; Moreno et al., 2023), even when the swim distance and thus the type of effort (Moreno et al., 2023), ingestion protocol (Lowings et al., 2017; Moreno et al., 2023), and rest conditions were matched (Esen et al., 2018; Moreno et al., 2023). Nevertheless, by consuming BJ in the present study, swimmers were able to reduce their times of the last repetition in block 2 compared to block 1. The average magnitude of these differences reached 0.20 units of the standard deviation of 100m times (calculated as effect size), which would correspond to a percentile gain of eight positions (Marzano et al., 2011) for a given sample of competitive swimmers. This improvement could be related to an ergogenic effect of BJ in the later phases of the effort, as others have shown in prolonging the time to exhaustion (Lowings et al., 2017; Behrens CE Jr. et al., 2020) or detecting a possible improvement in the last part of a 168m swimming effort (Lowings et al., 2017). An increased blood flow through vasodilation as well as a lower blood pressure following nitrates supplementation (Anderson et

al., 2022) could reduce the cardiovascular stress and increase the efficiency of oxygen utilization, potentially speeding recovery (Bailey et al., 2009). One can argue, the improved performance of swimmers after BJ ingestion in the last repetition of the intermittent bout could also be related to their effort regulation in the previous repetitions (Figure 2), as the pace profile over the six 100m repetitions showed a parabolic pattern typically observed in middle-distance swimming events (Mauger et al., 2012; Mytton et al., 2015). However, this hypothesis does not seem to be supported by the subjective variables between groups (Table 2).

The lack of overall differences in swimming performance was supported by no differences in blood lactate concentrations between conditions during the high-intensity efforts with incomplete recovery (Table 1). These findings support previous studies that described no effects of BJ supplementation on lactate concentration after high-intensity intermittent exercise in competitive swimmers over the same swimming distances (Moreno et al., 2023), nor in other sports like taekwondo during an anaerobic effort (Mirafrahi et al., 2021), team sports after an intense intermittent effort undergoing a yo-yo test (Wylie et al., 2013). Acute ingestion of nitrates has been shown to reduce the O_2 cost during submaximal exercise, thereby reducing the physiological load by reducing the contribution of substrate-level phosphorylation and lactate production during exercise (Jones et al., 2014). Furthermore, BJ supplementation has been shown to increase microvascular PO_2 in rat type II muscle during submaximal exercise, thereby enhancing capillary-myofibril oxygen exchange and allowing for better maintenance of intramuscular homeostasis (Ferguson et al., 2013; 2015). By improving oxidative function, this mechanism may be important in delaying lactate accumulation during high-intensity exercise (Krustrup et al.,

2004). Our results do not support this argument, as there was no complete recovery between efforts following recommendations for high-intensity interval training in competitive swimmers (Kilen et al., 2014). Therefore, we could speculate that during longer intervals (>3 min), which rely more on oxidative phosphorylation, acute BJ ingestion could potentially have ergogenic effects on performance, as shown by other authors (Dominguez et al., 2018). However, this hypothesis does not hold in view of the results obtained in other competitive swimmers with similar training workloads and performance levels (Moreno et al., 2023).

Regarding the values of the subjective scales RPE and TQR, in line with CMJ results as an indicator of general fatigue of athletes, there were no overall differences between the conditions. However, the swimmers in the BJ group (in contrast to the PLA group) started block 2 with similar RPE values as in block 1 whereas the PLA group (unlike the BJ group) showed a lower perceived recovery (TQR) in the final repetitions of each block (Table 2). Possible improvements in performance during this type of effort have been linked to a faster resynthesis of phosphocreatine. It is speculated that the ingestion of beetroot juice may delay depletion during repetitive exercise efforts (Dominguez et al., 2018). Since BJ may have an ergogenic effect on efforts with an oxidative metabolic component, as shown in the study by Mosher et al (Mosher et al., 2016), it is possible that the supplement accelerates this recovery, thereby delaying the onset of fatigue. This may be one of the reasons why our swimmers in the BJ group had better RPE and TQR than those in the PLA group.

The present results provided valuable information about the swimmers' performance at the end of a $2 \times 6 \times 100$ at maximal effort, suggesting that BJ supplementation may provide improvements in exercise tolerance or subjective sensation during the later phases of training. That said, physiological measures other than lactate or heart rate may help to understand how BJ affects swimmers. But, overall, considering the small differences between successful and unsuccessful performance at the competitive level (Born et al., 2022), a possible ergogenic effect of BJ on exercise tolerance could play a role on the competitive outcome of high-level swimmers. Future research in this area is encouraged to conduct tests with incomplete rest periods but with chronic BJ ingestion to determine if this might produce different results. For example, it is unknown whether higher doses of BJ (i.e., ~12.5 mmol) or multi-day supplementation (i.e., 3 or 7 days) could produce an ergogenic effect on performance in elite swimmers. In addition, data about the nitrate absorption through plasma and/or saliva levels could increase the understanding of the experimental results about BJ supplementation.

Conclusion

The results of our study point out that acute ingestion of BJ three hours prior to a high-intensity $2 \times 6 \times 100$ test with reduced recovery did not significantly affect the overall exercise performance, physiological variables of anaerobic metabolism, or subjective measures of fatigue/recovery of swimmers. However, an improvement in the perceived

recovery at the end of the interval effort was observed that could be connected to a potential positive effect of BJ supplementation in the performance of the final effort repetition.

Acknowledgements

We thank the swimmers and coaches who participated in the experiment for their valuable input on the details of the study. We also thank all the researchers who assisted in the data collection process, in particular MMP and ACS for their unconditional support. The other authors declare no potential or actual conflicts of interest. The datasets generated and analyzed during the current study are not publicly available, but are available from the corresponding author who was an organizer of the study. The experiments comply with the current laws of the country where they were performed.

References

- AIS, Australian Institute of Sport (2022) Sports supplement framework 2019. Available at: <https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements> (Accessed: 3 January 2023)
- Amara, S., Barbosa, T. M., Chortane, O. G., Hammami, R., Attia, A., Chortane, S. G., & van den Tillaar, R. (2022) Effect of Concurrent Resistance Training on Lower Body Strength, Leg Kick Swimming, and Sport-Specific Performance in Competitive Swimmers. *Biology* **11**(2), 299. <https://doi.org/10.3390/biology11020299>
- Anderson, O. K., Martinez-Ferran, M., Lorenzo-Calvo, J., Jiménez, S. L., & Pareja-Galeano, H. (2022) Effects of Nitrate Supplementation on Muscle Strength and Mass: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* **36**(12), 3562-3570. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004101>
- Bailey, S. J., Winyard, P., Vanhatalo, A., Blackwell, J. R., Dimenna, F. J., Wilkerson, D. P., Tarr, J., Benjamin, N., & Jones, A. M. (2009) Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* **107**(4), 1144-1155. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00722.2009>
- Behrens CE Jr, Ahmed, K., Ricart, K., Linder, B., Fernández, J., Bertrand, B., Patel, R. P., & Fisher, G. (2020) Acute beetroot juice supplementation improves exercise tolerance and cycling efficiency in adults with obesity. *Physiological Reports* **8**(19), e14574. <https://doi.org/10.14814/phy2.14574>
- Bescós, R., Sureda, A., Tur, J. A., & Pons, A. (2012) The effect of nitric-oxide-related supplements on human performance. *Sports Medicine* **42**(2), 99-117. <https://doi.org/10.2165/11596860-000000000-00000>
- Borg, Gunnar A.V. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **14**(5), 377-381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Born, D.-P., Schönfelder, M., Logan, O., Olstad, B. H., & Romann, M. (2022) Performance Development of European Swimmers Across the Olympic Cycle. *Frontiers in Sports and Active Living* **4**, 894066. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.894066>
- Clemente-Suárez, V. J., Fernandes, R. J., de Jesus, K., Pelarigo, J. G., Arroyo-Toledo, J. J., & Vilas-Boas, J. P. (2018) Do traditional and reverse swimming training periodizations lead to similar aerobic performance improvements? *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **58**(6), 761-767. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07465-5>
- Cuenca, E., Jodra, P., Pérez-López, A., González-Rodríguez, L. G., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herreros, P., & Dominguez, R. (2018) Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. *Nutrients* **10**(9), 1222. <https://doi.org/10.3390/nu10091222>
- Dominguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., Veiga-Herreros, P., da Silva, S. F., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018) Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* **15**(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
- Esen, O., Nicholas, C., Morris, M., & Bailey, S. J. (2018) No Effect of Beetroot Juice Supplementation on 100-m and 200-m Swimming Performance in Moderately-Trained Swimmers. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance* **14**(6), 1-19. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2018-0654>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, **39**(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Ferguson, S. K., Hirai, D. M., Copp, S. W., Holdsworth, C. T., Allen, J. D., Jones, A. M., Musch, T. I., & Poole, D. C. (2013) Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats: Beetroot juice and exercising muscle blood flow. *The Journal of Physiology* **591**(2), 547-557. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.243121>
- Ferguson, S. K., Holdsworth, C. T., Wright, J. L., Fees, A. J., Allen, J. D., Jones, A. M., Musch, T. I., & Poole, D. C. (2015) Microvascular oxygen pressures in muscles comprised of different fiber types: Impact of dietary nitrate supplementation. *Nitric Oxide* **48**, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.09.157>
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015) Alternative Countermovement-Jump Analysis to Quantify Acute Neuromuscular Fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance* **10**(1), 84-92. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2013-0413>
- Hellard, D. P., Scordia, C., Avalor, M., Mujika, I., & Pyne, D. B. (2017) Modelling of optimal training load patterns during the 11 weeks preceding major competition in elite swimmers. Applied physiology, nutrition, and metabolism. *Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme* **42**(10), 1106-1117. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0180>
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., Koppo, K., Wilmschurst, S., & Campbell, I. T. (2003) Inhibition of nitric oxide synthase by L-NAME speeds phase II pulmonary. VO₂ kinetics in the transition to moderate-intensity exercise in man. *The Journal of physiology* **552**(1), 265-272. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.045799>
- Jones, A.M. (2014) Dietary Nitrate Supplementation and Exercise Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)* **44**(Suppl 1), 35-45. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>
- Jones, A. M., Ferguson, S. K., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., & Poole, D. C. (2016) Fiber Type-Specific Effects of Dietary Nitrate. *Exercise and Sport Sciences Reviews* **44**(2), 53-60. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000074>
- Jonvik, K. L., Nyakayiru, J., van Dijk, J. W., Wardenaar, F. C., van Loon, L. J., & Verdijk, L. B. (2017) Habitual Dietary Nitrate Intake in Highly Trained Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* **27**(2), 148-157. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0239>
- Kenttä, G. and Hassmén, P. (1998) Overtraining and Recovery: A Conceptual Model. *Sports Medicine* **26**(1), 1-16. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00001>
- Kilen, A., Larsson, T. H., Jørgensen, M., Johansen, L., Jørgensen, S., & Nordsborg, N. B. (2014) Effects of 12 Weeks High-Intensity & Reduced-Volume Training in Elite Athletes. *Plos One*. Edited by J.M. Haddad, 9(4), e95025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095025>
- Koppo, K., Taes, Y. E., Pottier, A., Boone, J., Bouckaert, J., & Derave, W. (2009) Dietary arginine supplementation speeds pulmonary VO₂ kinetics during cycle exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **41**(8), 1626-1632. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31819d81b6>
- Krustrup, P., Söderlund, K., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004) The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* **447**(6), 855-866. <https://doi.org/10.1007/s00424-003-1203-z>
- López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Moreno-Pérez, V., Nakamura, F. Y., Acebes-Sánchez, J., Quintana-Milla, I., Sánchez-Oliver, A. J., Moreno-Pérez, D., Fernández-Elias, V. E., & Domínguez, R. (2020) Effects of Beetroot Juice Ingestion on Physical Performance in Highly Competitive Tennis Players. *Nutrients* **12**(2), 584. <https://doi.org/10.3390/nu12020584>
- Lowings, S., Shannon, O. M., Deighton, K., Matu, J., & Barlow, M. J. (2017) Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Swimming Performance in Trained Swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* **27**(4), 377-384. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0251>
- Marzano, R.J., Pickering, D.J., and Heflebower, T. (2011) The Highly Engaged Classroom. United States os America: Marzano by Solution Tree.
- Mauger, A.R., Neuloh, J. and Castle, P.C. (2012) Analysis of Pacing Strategy Selection in Elite 400-m Freestyle Swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **44**(11), 2205-2212. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182604b84>
- Mirafabbi, H., Avazpoor, Z., Berjisan, E., Sarshin, A., Rezaei, S., Domínguez, R., Reale, R., Franchini, E., Samanipour, M. H., Koozehchian, M. S., Willems, M. E. T., Rafiei, R., & Naderi, A. (2021) Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cognitive Function, Aerobic and Anaerobic Performances of Trained Male Taekwondo Athletes: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**(19), 10202. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910202>
- Moreno, B., Veiga, S., Sánchez-Oliver, A. J., Domínguez, R., & Morencos, E. (2022) Analysis of Sport Supplement Consumption by Competitive Swimmers According to Sex and Competitive Level. *Nutrients* **14**(15), 3218. <https://doi.org/10.3390/nu14153218>
- Moreno, B., Morencos, E., Vicente-Campos, D., Muñoz, A., González-García, J., & Veiga, S. (2023) Effects of beetroot juice intake on repeated performance of competitive swimmers. *Frontiers in Physiology* **13**, 1076295. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1076295>
- Mosher, S. L., Sparks, S. A., Williams, E. L., Bentley, D. J., & McNaughton, L. R. (2016) Ingestion of a Nitric Oxide Enhancing Supplement Improves Resistance Exercise Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* **30**(12), 3520-3524. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001437>
- Muggeridge, D. J., Howe, C. C., Spendiff, O., Pedlar, C., James, P. E., & Easton, C. (2013) The Effects of a Single Dose of Concentrated Beetroot Juice on Performance in Trained Flatwater Kayakers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* **23**(5), 498-506. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.498>
- Mujika, I. (1998) The Influence of Training Characteristics and Tapering on the Adaptation in Highly Trained Individuals: A Review. *International Journal of Sports Medicine* **19**(07), 439-446. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971942>
- Mytton, G. J., Archer, D. T., Turner, L., Skorski, S., Renfree, A., Thompson, K. G., & St Clair Gibson, A. (2015) Increased Variability of Lap Speeds: Differentiating Medalists and Nonmedalists in Middle-Distance Running and Swimming Events. *International Journal of Sports Physiology and Performance* **10**(3), 369-373. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2014-0207>
- Nugent, F. J., Comyns, T. M., Burrows, E., & Warrington, G. D. (2017) Effects of Low-Volume, High-Intensity Training on Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* **31**(3), 837-847. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001583>
- Patrician, A. and Schagatay, E. (2017) Dietary nitrate enhances arterial oxygen saturation after dynamic apnea. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **27**(6), 622-626. <https://doi.org/10.1111/sms.12684>
- Pawlak-Chaouch, M., Boissière, J., Munyaneza, D., Gamelin, F. X., Cuvelier, G., Berthoin, S., & Aucouturier, J. (2019) Beetroot Juice Does Not Enhance Supramaximal Intermittent Exercise Performance in Elite Endurance Athletes. *Journal of the American College of Nutrition* **38**(8), 729-738. <https://doi.org/10.1080/07315724.2019.1601601>
- Pierce, C.A., Block, R.A. and Aguinis, H. (2004) Cautionary Note on Reporting Eta-Squared Values from Multifactor ANOVA Designs. *Educational and Psychological Measurement* **64**(6), 916-924. <https://doi.org/10.1177/0013164404264848>
- Pinna, M., Roberto, S., Milia, R., Marongiu, E., Olla, S., Loi, A., Migliaccio, G. M., Padulo, J., Orlandi, C., Tocco, F., Concu, A., & Crisafulli, A. (2014) Effect of Beetroot Juice Supplementation on Aerobic Response during Swimming. *Nutrients* **6**(2), 605-615. <https://doi.org/10.3390/nu6020605>
- Ruiz-Navarro, J.J., López-Belmonte, Ó., Gay, A., Cuenca-Fernández, F., & Arellano, R. (2023) A new model of performance classification to standardize the research results in swimming. *European Journal of Sport Science* **23**(4), 478-488. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2046174>
- Silva, K.V. C., Costa, B. D., Gomes, A. C., Saunders, B., & Mota, J. F. (2022) Factors that Moderate the Effect of Nitrate Ingestion on Exercise Performance in Adults: A Systematic Review with Meta-Analyses and Meta-Regressions. *Advances in Nutrition* **13**(5), 1866-1881. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac054>

- Trinidad A, Navandar A, Navarro E, Veiga S. (2022) Kinematic Determinants of the Swimming Push Start in Competitive Swimmers. *Applied Sciences* **12**(18), 9278. <https://doi.org/10.3390/app12189278>
- Wylie, L. J., Mohr, M., Krstrup, P., Jackman, S. R., Ermidis, G., Kelly, J., Black, M. I., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013) Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology* **113**(7), 1673-1684. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2589-8>
- Wylie, L. J., Bailey, S. J., Kelly, J., Blackwell, J. R., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2016) Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology* **116**(2), 415-425. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3296-4>

Key points

- The effect of an acute dose of beet juice three hours before a high-intensity $2 \times 6 \times 100$ test with reduced recovery, as typically used during training blocks, was tested in competitive swimmers.
- The BJ supplementation did not significantly affect the overall performance of competitive swimmers or their physiological variables.
- However, an improvement in perceived recovery (TQR) at the end of the interval effort was noted for the BJ group, suggesting an improvement in exercise tolerance that may play a role in the competitive outcome of competitive swimmers.

AUTHOR BIOGRAPHY



Berta MORENO-HEREDERO

Employment

Professor at the Francisco de Vitoria University. Faculty of Health Sciences

Degree

PhD Student

Research interests

Swimming and aquatic skills and health Sciences

E-mail: b.moreno@ufv.es



Esther MORENCOS

Employment

Exercise and Sport Sciences, Education and Humanities Faculty, Francisco de Vitoria University, UFV, Madrid, Spain

Degree

PhD

Research interests

Field hockey; Team analysis; Training load; strength and conditioning

E-mail: esthermorencos@gmail.com



Jorge E. MORAIS

Employment

Professor in the Instituto Politécnico de Bragança and Member of the Research Centre for Active Living and Wellbeing (LiveWell), Portugal

Degree

PhD

Research interests

The biomechanical and physiological determinant factors of aquatic activities.

E-mail: morais.jorgestrela@ipb.pt



Tiago M. BARBOSA

Employment

Professor at the Polytechnic Institute of Bragança and Member of the Research Centre in Sports, Health and Human Development, Portugal

Degree

PhD

Research interests

The biomechanical and physiological

E-mail: barbosa@ipb.pt



Santiago VEIGA

Employment

Lecturer in swimming teaching and swimming training, Universidad Politécnica de Madrid

Degree

PhD

Research interests

Sports performance, skill acquisition, swimming biomechanics

E-mail: santiago.veiga@upm.es

✉ Berta Moreno-Herederro

Exercise Physiology Group, Exercise and Sport Sciences, Faculty of Health Sciences, Universidad Francisco de Vitoria, 28223 Madrid, Spain

6. Discusión

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral fue examinar el uso de los suplementos deportivos en nadadores de élite y determinar los efectos de una ingesta aguda de nitrato consumido en forma de zumo de remolacha (BJ) en el rendimiento de nado. En este sentido, pudimos descubrir mediante el uso de un cuestionario validado y adaptado el alto consumo de SS entre los nadadores de competición. Los SS más consumidos por los nadadores fueron la cafeína, las bebidas deportivas, las barritas deportivas y la vitamina C. A pesar de la alta prevalencia en el consumo de SS, se pudo detectar una baja ingesta de BJ. Una vez recogidos los datos sobre el uso y consumo de SS entre los nadadores nacionales e internacionales, nos propusimos analizar si una ingesta aguda de BJ mejoraba el rendimiento en un esfuerzo máximo repetido (6x100m nado estilo libre) con descansos completos de 7 minutos. En cuanto a los efectos de la ingesta de BJ, los resultados de la presente tesis mostraron que no hubo diferencias entre grupos en ninguna de las variables analizadas, ni para las variables de rendimiento (tiempos totales y parciales y nado subacuático en la salida y viraje), fisiológicas (concentración de lactato) y subjetivas (Escala de Percepción del Esfuerzo (RPE) y Escala de Calidad de Recuperación (TQR)) ni en las interacciones (repetición × condición). Tras el estudio de esfuerzos máximos con descansos completos, se investigó si una ingesta aguda de BJ mejoraba el rendimiento en una prueba de 2x6x100m nado estilo libre con 40 segundos de descanso entre repeticiones y 3 minutos de descanso entre bloques (descansos incompletos). No se vieron diferencias significativas entre grupos ni para las variables de rendimiento (tiempos totales y parciales), fisiológicas (frecuencia cardiaca y concentración de lactato) y subjetivas (RPE y TQR). Sin embargo, se observó una interacción en el grupo BJ entre bloque × repetición × condición para los tiempos totales, indicando mejor tiempo en la sexta repetición del bloque 2 comparado con el bloque 1 para el grupo BJ.

6.1. Características del consumo de SS en nadadores de competición

El primero de nuestros objetivos fue analizar el uso de SS específicamente en nadadores de competición y describir el patrón de consumo, objetivo de consumo, quién lo recomendó y dónde lo compraron según el sexo y el nivel competitivo. Los resultados del presente estudio muestran una alta prevalencia de uso de SS en nadadores de competición (86,9%) en comparación con otras disciplinas como los regatistas de élite

(52%) (Caraballo et al., 2020) o los jugadores de rugby (65,3%) (Sánchez-Oliver et al., 2020).

El alto volumen de entrenamiento al que se someten los nadadores de competición, incluyendo una gran cantidad de sesiones semanales dentro y fuera del agua (Hellard et al., 2019), podría ser la razón de la prevalencia elevada de consumo de SS entre los nadadores. De hecho, un 59,2% de los nadadores de nuestro estudio, independientemente de sexo o el nivel competitivo, consumían SS para mejorar su rendimiento deportivo. Sorprendentemente, no se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de consumo de estas sustancias entre nadadores de nivel nacional e internacional, a diferencia de lo que sugieren otros estudios (Caraballo et al., 2020; Domínguez et al., 2020). Esta similitud en el consumo de SS podría atribuirse a los niveles similares de entrenamiento entre atletas nacionales e internacionales. Se ha descrito en la literatura cómo deportistas pertenecientes a diferentes niveles de rendimiento, se diferencian principalmente en su nivel competitivo y no su volumen de entrenamiento (McKay et al., 2022). En cuanto al género, no se encontraron disparidades en la frecuencia del uso de SS, lo cual difiere de algunos estudios recientes que muestran un mayor consumo en hombres (Baltazar-Martins et al., 2019; Sánchez-Oliver et al., 2020).

El 66% de los nadadores encuestados declararon consumir SS durante la competición, independientemente del sexo o del nivel competitivo. Dicha prevalencia fue ligeramente mayor a la encontrada (54,8% en hombres y 45,5% en mujeres) en deportistas de elite por Caraballo et al. (2020), que tampoco encontró diferencias estadísticas entre géneros. Sin embargo, los nadadores de nivel internacional mostraron un mayor consumo de SS durante la competición, mientras que los nadadores de nivel nacional tendieron a consumirlas más durante el entrenamiento. Es posible que las grandes demandas a las que se someten los deportistas de elite (como las presiones competitivas o del entorno social) (Hellard et al., 2019), motiven a los nadadores de élite a recurrir a la suplementación durante los momentos de mayor exigencia deportiva. Este es un hallazgo importante de esta investigación, ya que ninguno de los estudios anteriores sobre nadadores ha abordado el momento específico del consumo de SS (Domínguez et al., 2017b).

En cuanto a la fuente de información sobre SS, los nadadores participantes en este estudio mayoritariamente optaron por los entrenadores como los agentes que les asesoraban sobre los SS (40,3%). Este patrón se refleja también en un estudio reciente realizado por Finamore en usuarios de gimnasios (Finamore et al., 2022), así como en hallazgos de investigaciones previas con atletas alemanes (Wardenaar et al., 2016). Estos resultados sugieren áreas de mejora en la educación sobre el uso de SS entre los

nadadores de competición, ya que existe evidencia de que aquellos que reciben orientación profesional (como médicos deportivos y dietistas-nutricionistas) tienden a hacer un uso más adecuado de estos productos (Sánchez-Oliver et al., 2020).

6.2. Tipo de consumo de SS en nadadores de competición

Al clasificar los suplementos según el nivel de evidencia (clasificación AIS) más de la mitad de los nadadores analizados, independientemente del nivel competitivo, consumieron cafeína (52,94%), seguida de la creatina (27,45%), del bicarbonato de sodio (20,58%), la beta-Alanina (16,66%) y, por último, del NO₃- o BJ (0,98%). Esto no difiere de otros cuestionarios, donde la cafeína era uno de los SS más consumido por los deportistas (Braun et al., 2009; Finamore et al., 2022; Sánchez-Oliver et al., 2020).

Dentro del consumo de SS del grupo A, se observó que, para los nadadores de nivel nacional, los hombres presentaron un mayor consumo de SS del grupo A que las mujeres. Estos datos coinciden con estudios previos, donde los hombres tenían una prevalencia ligeramente superior en el uso de suplementos que sus homólogas femeninas, específicamente en lo que respecta a los suplementos (Aguilar-Navarro et al., 2020). También, coincide con otro estudio reportando que, los regatistas masculinos y los que competían a nivel internacional presentaban una mayor prevalencia en el consumo de SS (Caraballo et al., 2020).

Por otro lado, dentro del subgrupo de suplementos médicos, se observó un mayor consumo a nivel internacional en hombres y a nivel nacional en mujeres. Además, las mujeres consumieron más suplementos médicos en el subgrupo A, 0,4 en hombres, frente a 1,0 en mujeres, aunque las diferencias en el consumo podrían atribuirse principalmente al subgrupo de rendimiento deportivo, siendo 1,5 en hombres, frente a 0,8 en mujeres. Estas discrepancias podrían deberse a la inclusión del hierro en el subgrupo de suplementos médicos, ya que se ha informado que es el suplemento más común entre los atletas de élite en diferentes deportes (Domínguez et al., 2020; Knapik et al., 2016; Mata et al., 2021; McKay et al., 2022; Shaw et al., 2016), especialmente entre las mujeres debido a la mayor necesidad durante la menstruación y al final de temporadas competitivas más intensas (Baltazar-Martins et al., 2019; Knapik et al., 2016). Dado que la deficiencia de hierro es prevalente entre atletas, especialmente mujeres, su ingesta puede requerir una supervisión más individualizada por parte de profesionales médicos o científicos deportivos, lo que podría explicar el mayor consumo entre nadadores internacionales.

En cuanto a los suplementos más consumidos, se observaron diferencias por sexo, siendo los hombres los que consumían más creatina y taurina, y mostrando una mayor tendencia a consumir más proteína de suero, mientras que las mujeres consumían más

complejos vitamínicos. Estos hallazgos son consistentes con estudios anteriores que han mostrado un mayor consumo de hierro y vitaminas en mujeres, y de suplementos proteicos en hombres (Knapik et al., 2016; Sánchez Oliver et al., 2011). La mayoría de los suplementos consumidos pertenecían al grupo A, lo que sugiere que los nadadores estaban bien informados sobre los suplementos más efectivos para su deporte. Es importante destacar que, aunque los entrenadores fueron la principal fuente de asesoramiento sobre suplementos, una buena formación y educación de estos profesionales gracias a documentos de consenso elaborados por entidades como el ISSN (Kerksick et al., 2018), el COI (Maughan et al., 2018a) o el AIS (AIS, 2021.) en materia de suplementación deportiva, podría ayudar a brindar orientación precisa a los nadadores.

A pesar del alto grado de evidencia científica sobre los efectos positivos que ejerce el BJ en el rendimiento, los nadadores analizados en el presente estudio mostraron un bajo consumo de dicho suplemento (0,98%). Este bajo porcentaje de consumo de BJ podría explicarse por las dudas y controversias mencionadas anteriormente entre las mejoras o no en el rendimiento físico por el consumo de BJ, donde algunos estudios reportan mejoras (Aucouturier et al., 2015; Kramer, 2016; Rimer et al., 2016), mientras otros no muestran ningún beneficio (Berlanga et al., 2023; Clifford et al., 2016; Muggeridge et al., 2013; Pawlak-Chaouch et al., 2019). Por ello, en los siguientes estudios de esta Tesis Doctoral se propuso evaluar los efectos de una ingesta aguda sobre el rendimiento natación en esfuerzos de alta intensidad. Los protocolos de esfuerzo fueron similares, implicando esfuerzos repetidos, pero diferían en cuanto a los descansos completos (estudio 1) o incompletos (estudio 2) entre repeticiones.

6.3. Efectos de la ingesta BJ sobre el rendimiento de nado

En la Presente Tesis Doctoral se examinaron los efectos de la ingesta aguda de BJ sobre dos protocolos de nado (6 x 100m en el estudio 2 y 2 x 6 x 100m en el estudio 3) con recuperaciones de 7 min (estudio 2) y 40 segundos (estudio 3) entre repeticiones. En ambos casos, los resultados no mostraron diferencias significativas en el rendimiento de los tiempos totales o parciales de natación entre los grupos de BJ y PLA. Este hallazgo coincide con estudios previos en natación, que no encontraron efectos beneficiosos en el rendimiento de los nadadores después de la ingestión de BJ ni cuando el tipo de esfuerzo (Esen et al., 2019) o el protocolo de ingesta agudo (Lowings et al., 2017) era similar al del presente estudio.

Sin embargo, a pesar de la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento general de la natación, ambos estudios identificaron posibles efectos

ergogénicos de la BJ en ciertos aspectos en el rendimiento. En el estudio 2, se observó un posible efecto positivo sobre el rendimiento en los tiempos de la última repetición. En el estudio 3, los nadadores que consumieron BJ redujeron sus tiempos en la última repetición del segundo bloque en comparación con el primero. Estos hallazgos podrían indicar una posible mejora en la tolerancia al ejercicio al final del esfuerzo intermitente y están en línea con el estudio de Lowings (2017), donde se detectó un posible efecto beneficioso tras la ingesta de BJ en la segunda mitad del test de 8x21m (Lowings et al., 2017). La posible mejora de la eficiencia muscular y la capacidad contráctil al promover la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico y su recaptación en las células musculares (Bloomer et al., 2010; McMahon et al., 2017) podría ayudar a aumentar la velocidad de la contracción muscular en las últimas repeticiones. La magnitud de las mejoras observadas en el estudio 3 alcanzaron 0,20 unidades de la desviación estándar de los tiempos de 100m (calculada como tamaño del efecto), lo que correspondería a una ganancia percentil de ocho posiciones (Marzano et al., 2011) y que tendría un efecto relevante en competiciones de natación.

6.4. Efectos de la ingesta de BJ sobre las variables fisiológicas durante el rendimiento de nado

En cuanto a las variables fisiológicas analizadas, no se observaron diferencias significativas en ninguno de los estudios entre los grupos PLA y BJ. La frecuencia cardíaca (FC) no se vio modificada por la ingesta de BJ, lo cual es coherente con estudios anteriores que no revelaron ningún efecto de la BJ sobre la FC en atletas sanos (Kroll et al., 2018). Para las concentraciones de lactato en sangre, los valores fueron mayores durante las seis repeticiones del estudio 2 (6x100m) respecto a los valores en reposo tanto en la condición PLA como en la suplementación con BJ. En el estudio 3 (2x6x100m), se pudo apreciar una tendencia a que la suplementación con BJ facilitara la predominancia de la vía metabólica glucolítica, como demuestran el aumento progresivo de los valores en las concentraciones de lactato en todas las repeticiones del bloque 2 en comparación con el bloque 1, sin encontrarse diferencias significativas entre condiciones. Estos hallazgos respaldan investigaciones anteriores con nadadores, donde no se encontró un efecto de la ingesta de BJ en la concentración de lactato post-esfuerzo (Esen et al., 2019; Lowings et al., 2017). Estos resultados también son consistentes con estudios previos que describen la falta de efectos de la suplementación con BJ sobre la concentración de lactato en el ejercicio intermitente de alta intensidad (Miraftabi et al., 2021; Wylie et al., 2013). Solo se encontró

un estudio en la literatura que reportó concentraciones más bajas de lactato sanguíneo en corredores recreativos que utilizaron suplementación crónica de NO_3^- durante un período de 4 semanas (Santana et al., 2019). Esto podría atribuirse a un posible cambio en el suministro de energía, de una fuente anaeróbica a un suministro oxidativo, como sugieren Wylie et al., (2016). En el caso de nuestros nadadores, podría explicarse ya que, si se observan mayores concentraciones de lactato tras la ingesta de BJ, esto indique una mayor glucólisis. Lo anterior sugiere una mayor predominancia de la vía anaeróbica (glucólisis citosólica) sobre la aeróbica (fosforilación oxidativa), lo que podría reflejar un mejor rendimiento en los últimos intervalos de las pruebas.

6.5. Efectos de la ingesta de BJ sobre las variables subjetivas durante el rendimiento de nado

Para las variables subjetivas (RPE y TQR), los participantes del grupo BJ en el estudio 2 mostraron un posible pequeño efecto positivo de la RPE en las repeticiones de 1 a 5 mientras que los participantes del grupo BJ en el estudio 3, mantuvieron estables los valores de RPE en el inicio del segundo bloque de trabajo en comparación con el grupo PLA. A pesar de estos posibles efectos positivos del grupo BJ en la RPE, ninguna de estas diferencias fue estadísticamente significativa. Estos hallazgos van en línea con los resultados de otros estudios que encontraron mejoras en la RPE de atletas de élite tras una ingesta durante 15 días de BJ (Balsalobre-Fernández et al., 2018). Sabiendo que la RPE disminuye ante recuperaciones activas, que buscan aumentar el flujo de sangre a la musculatura implicada en un esfuerzo físico (Latella et al., 2019), la suplementación con BJ podría estimular dichas respuestas a nivel cardiovascular (Zhou et al., 2021) y explicar la tendencia a la mejor tolerancia al esfuerzo (menor RPE) observada en nuestro estudio en el grupo BJ con respecto al PLA. Asimismo, los efectos vasodilatadores de la ingesta de NO_3^- podrían no limitarse únicamente a nivel vascular, sino que también podrían representar una mejora en la función respiratoria (Lundberg et al., 2008), lo que podría también haber influido en las modestas mejoras observadas en cuanto a la RPE y la TQR en nuestros estudios. Por último, la mejora de la perfusión sanguínea que podría derivarse de la suplementación con BJ podría permitir que la resíntesis de fosfocreatina se incrementase (Domínguez et al., 2018), por lo que esta mayor perfusión de sangre podría haber determinado la mejor TQR a favor de la suplementación con BJ en la acumulación de esfuerzos repetidos.

6.6. Diferencias de los efectos del BJ en función del tipo de recuperación

Los diferentes protocolos de recuperación (completa o incompleta) empleados en los estudios 2 y 3 de esta tesis deben de ser tenidos en cuenta a la hora de interpretar los resultados obtenidos. En el estudio 2, que contemplaba recuperaciones completas, se sugiere una posible mejora en la TQR para el grupo BJ en algunas repeticiones (1ª y 3ª). Considerando que uno de los efectos del BJ está vinculado a una mayor tasa de resíntesis de fosfocreatina, es posible que, a pesar de los periodos de descanso completos, la suplementación no haya generado un efecto significativo (Domínguez et al., 2018), del mismo modo que sucedió en el estudio de Muggeridge et al., (2013). Este último analizó el impacto del zumo de remolacha (5 mmol NO-) administrado 180 minutos antes de un esfuerzo intermitente de 5 series de 10 segundos en un ergómetro de kayak, con descansos de 50 segundos entre series. Aunque la suplementación mostró un mayor efecto en la potencia generada en las dos últimas series, la mejora observada no fue estadísticamente significativa.

En contraste, en el estudio 3, con recuperaciones incompletas, se observó una mejor TQR al final de cada bloque del grupo BJ (última serie del bloque 1 y series 5 y 6 del bloque 2). Esto se explica porque, durante esfuerzos repetidos con breves periodos de descanso, la suplementación con BJ podría retrasar el agotamiento de la fosfocreatina, facilitando las mejoras observadas en los nadadores, como sugiere el estudio de Thompson et al. (2017). En dicho estudio, se administró BJ a deportistas en una prueba de 2 bloques de sprints de 6 segundos en un cicloergómetro, con recuperaciones activas de 14 segundos durante la mitad y el final de un partido simulado. Los resultados mostraron una mejora del 3,5% en el volumen de trabajo total durante la sesión, siendo más significativa al final de la primera mitad. Dado que el BJ puede tener un efecto ergogénico en esfuerzos con un componente metabólico oxidativo (Mosher et al., 2016), es posible que el suplemento acelere esta recuperación, retrasando así la aparición de la fatiga.

En el estudio 2, los largos periodos de recuperación probablemente permitieron que la vía glucolítica predominara en todas las series para ambos grupos (BJ y PLA). Sin embargo, en el estudio 3 se observó una tendencia a que la suplementación con BJ facilitara esta vía, como lo demuestra el aumento de los valores cada vez más altos de lactato después de cada repetición. Es posible que esto se deba a la mejora en el aclaramiento de metabolitos y una ligera extensión del metabolismo de los fosfágenos, optimizando la recuperación entre series cortas (40 segundos). Uno de los mecanismos que podría explicar esta diferencia es que, con recuperaciones incompletas, la suplementación con BJ facilita el aclaramiento de lactato. No olvidemos que uno de los efectos más documentados de la ingesta de nitratos es la mejora en la perfusión sanguínea

mediante la vasodilatación inducida por la síntesis de óxido nítrico (Jones et al., 2018). Esto permitiría que el lactato en el torrente sanguíneo sea captado por el hígado y reconvertido en glucosa, la cual regresaría a los músculos activos, manteniendo la predominancia de la vía glucolítica durante los esfuerzos repetidos.

6.7. Limitaciones de los estudios

Los resultados de la presente tesis doctoral deben de ser interpretados teniendo en cuenta algunas limitaciones de los estudios que la forman. En el estudio 1, a pesar de que se utilizó un cuestionario validado y fiable que debería garantizar la precisión de los resultados, el carácter retrospectivo de las respuestas sobre el consumo de suplementos podría resultar en datos parcialmente inexactos. Además, algunos nadadores podrían haber utilizado suplementos sin haberlo reconocido en el momento de la encuesta, lo que podría subestimar los resultados en cuanto al consumo de SS. En cuanto a las limitaciones de los estudios 2 y 3, habría que ser cauteloso a la hora de generalizar los resultados ya que, aunque el tamaño de la muestra es representativo, dicha muestra no es muy grande. Otra posible limitación que podríamos detectar en estos estudios es que, a pesar de haberles dado instrucciones y recomendaciones de ingesta de la SS a los participantes de ambos estudios, los nadadores no estaban en régimen de competición por lo que venían de sus casas. Esto, podría hacernos dudar de si hubiesen ingerido o no el SS en las condiciones óptimas.

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones

Los resultados de la presente tesis doctoral proporcionan la primera evidencia del consumo de SS en nadadores de élite y demuestran algunos patrones específicos de consumo en base a las altas demandas de volumen e intensidad en los programas de entrenamiento de natación de élite. Esta información junto con documentos como los aportados por el COI, AIS o ISSN, podría ayudar y asesorar correctamente a nadadores y entrenadores de alto nivel. Asimismo, los resultados sobre los efectos de la ingesta aguda de BJ sobre el rendimiento de nado aumentan el conocimiento para los entrenadores y deportistas de cómo buscar mejoras en relación a las mínimas diferencias que ocurren en competiciones de nivel nacional e internacional. De manera más concreta, las conclusiones de la presente Tesis Doctoral son:

En relación con el objetivo de examinar el uso de los suplementos deportivos en nadadores de competición, se concluye:

- Los nadadores de competición presentan una alta prevalencia de consumo de SS en comparación con otras disciplinas deportivas, siendo la cafeína, las bebidas deportivas y las barritas, los SS más consumidos.
- La principal motivación para el consumo de SS es la mejora del rendimiento y, por ello, la ingesta de SS fue más común durante el período competitivo que durante la fase de preparación.
- Los nadadores de nivel internacional mostraron una mayor ingesta de SS durante el ejercicio (y no sólo antes o después del ejercicio) y un mayor consumo de suplementos médicos (como el hierro) con un mayor nivel de evidencia científica, respecto a los nadadores de nivel nacional.
- Se encontraron diferencias en función del sexo en el tipo de SS ingerido (más creatina y taurina en los hombres y más complejos vitamínicos en las mujeres) y en que las nadadoras consumieron más SS del subgrupo A de suplementos médicos, relacionado con una mayor ingesta de hierro como SS.
- No se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de consumo de SS entre nadadores de nivel nacional e internacional. Esto representa una idea importante ya que nuestros datos no muestran que los mejores nadadores tomen más SS que los de menor nivel.

En relación con el objetivo de determinar los efectos de una ingesta aguda de nitrato consumido en zumo de remolacha (BJ) en el rendimiento de nado, se concluye:

- La ingestión aguda de una dosis de BJ 3 h antes de un esfuerzo máximo de nado interválico con recuperación completa o incompleta no afectó de manera general al rendimiento medido en tiempo realizado, ni a la respuesta fisiológica ni perceptiva de nadadores de competición.
- Se observaron algunos posibles efectos positivos de la ingesta de BJ, principalmente relacionados con:
 - Un posible aumento del rendimiento al final de esfuerzos repetidos de alta intensidad, tanto si se realizan con recuperación completa o incompleta.
 - Una posible mejora de la recuperación percibida al final del intervalo de recuperación entre esfuerzos, especialmente cuando la recuperación incompleta.
- Los posibles efectos positivos observados por la ingesta de BJ al final de esfuerzos repetidos de tipo interválico podrían representar una mejora en la tolerancia al ejercicio, con un posible impacto en los resultados competitivos de nadadores de competición.

7.2. Futuras líneas de investigación

En cuanto a las futuras líneas de investigación en esta temática, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, el conocimiento del uso de SS en nadadores de competición se podría ampliar analizando a nadadores de mayor nivel de rendimiento como los pertenecientes al nivel 1 y 2 según Ruiz Navarro et al., (2023). Asimismo, se podría llevar a cabo algún estudio en colaboración con otros países lo que permitiría el análisis de deportistas de otras nacionalidades que pudiesen tener (o no) patrones de consumo de SS diferente de los nadadores españoles.

Para ayudar a entender los efectos de la ingesta de BJ sobre el rendimiento de nado (estudios 2 y 3), sería interesante el análisis de otras medidas fisiológicas como el consumo de VO_2 que, permitiesen incrementar el conocimiento sobre dichos efectos. En este sentido, la medición de parámetros de manera continua durante el esfuerzo (y no solo al finalizar el esfuerzo) podría proporcionar información sobre la dinámica de las respuestas al ejercicio con y sin ingesta de BJ. Pero la línea de investigación futura que, en base a los presentes resultados con ingesta aguda de BJ, podría tener mayor interés sería

la posibilidad de probar un protocolo de ingesta crónica de BJ para el rendimiento de nado. Se podría averiguar si natación dosis más altas de BJ (es decir, ~12,5 mmol) o un suplemento de varios días (es decir, 3 o 7 días) podrían producir un efecto ergogénico en el rendimiento de los nadadores de élite.

8. Bibliografía

- Aguilar-Navarro, M., Baltazar-Martins, G., Brito de Souza, D., Muñoz-Guerra, J., Del Mar Plata, M., & Del Coso, J. (2021). Gender Differences in Prevalence and Patterns of Dietary Supplement Use in Elite Athletes. *Research quarterly for exercise and sport*, 92(4), 659–668. <https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1764469>
- Australian Institute of Sport (AIS). (2021). *The AIS sports supplement framework 2021*. <https://www.sportaus.gov.au/ais> (Accedido: 3 de enero de 2023).
- Amaro, N. M., Marinho, D. A., Marques, M. C., Batalha, N. P., & Morouço, P. G. (2017). Effects of Dry-Land Strength and Conditioning Programs in Age Group Swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 31(9), 2447–2454. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001709>
- Aucouturier, J., Boissière, J., Pawlak-Chaouch, M., Cuvelier, G., & Gamelin, F. X. (2015). Effect of dietary nitrate supplementation on tolerance to supramaximal intensity intermittent exercise. *Nitric oxide: biology and chemistry*, 49, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2015.05.004>
- Bailey, S. J., Varnham, R. L., DiMenna, F. J., Breese, B. C., Wylie, L. J., & Jones, A. M. (2015). Inorganic nitrate supplementation improves muscle oxygenation, O₂ uptake kinetics, and exercise tolerance at high but not low pedal rates. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 118(11), 1396–1405. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01141.2014>
- Balsalobre-Fernández, C., Romero-Moraleda, B., Cupeiro, R., Peinado, A. B., Butragueño, J., & Benito, P. J. (2018). The effects of beetroot juice supplementation on exercise economy, rating of perceived exertion and running mechanics in elite distance runners: A double-blinded, randomized study. *PloS one*, 13(7), e0200517. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200517>
- Baltazar-Martins, G., Brito de Souza, D., Aguilar-Navarro, M., Muñoz-Guerra, J., Plata, M. D. M., & Del Coso, J. (2019). Prevalence and patterns of dietary supplement use in elite Spanish athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0296-5>
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of science and medicine in sport*, 13(2), 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.01.003>

- Barbosa, T. M., Bartolomeu, R., Morais, J. E., & Costa, M. J. (2019). Skillful Swimming in Age-Groups Is Determined by Anthropometrics, Biomechanics and Energetics. *Frontiers in physiology*, 10, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00073>
- Barbosa, T. M., Costa, M. J., & Marinho, D. A. (2013). Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. *Journal of Human Kinetics*, 2(1), 1–15.
- Baylis, A., Cameron-Smith, D., & Burke, L. (2001). Inadvertent doping through supplement use by athletes: Assessment and management of the risk in Australia. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11(3), 365–383. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.11.3.365>
- Berlanga, L. A., Lopez-Samanes, A., & Martin-Lopez, J. (2023). Dietary nitrate ingestion does not improve neuromuscular performance in male sport climbers. *Journal of Human Kinetics*, 87, 47–57. <https://doi.org/10.5114/jhk/161812>
- Bestwick-Stevenson, T., Toone, R., Neupert, E., Edwards, K., & Kluzek, S. (2022). Assessment of Fatigue and Recovery in Sport: Narrative Review. *International journal of sports medicine*, 43(14), 1151–1162. <https://doi.org/10.1055/a-1834-7177>
- Bisschop, P. H., Pereira Arias, A. M., Ackermans, M. T., Endert, E., Pijl, H., Kuipers, F., Meijer, A. J., Sauerwein, H. P., & Romijn, J. A. (2000). The effects of carbohydrate variation in isocaloric diets on glycogenolysis and gluconeogenesis in healthy men. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 85(5), 1963–1967. <https://doi.org/10.1210/jcem.85.5.6573>
- Bloomer, R. J., Farney, T. M., Trepanowski, J. F., McCarthy, C. G., Canale, R. E., & Schilling, B. K. (2010). Comparison of pre-workout nitric oxide stimulating dietary supplements on skeletal muscle oxygen saturation, blood nitrate/nitrite, lipid peroxidation, and upper body exercise performance in resistance trained men. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7, 16. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-16>
- Bogdan, C. (2001). Nitric oxide and the immune response. *Nature Immunology*, 2(10), 907–916. <https://doi.org/10.1038/ni1001-907>
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K., & Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *The Journal of physiology*, 482 (Pt 2)(Pt 2), 467–480. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020533>

- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.
- Braun, H., Koehler, K., Geyer, H., Kleiner, J., Mester, J., & Schanzer, W. (2009). Dietary supplement use among elite young German athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 19(1), 97–109. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.1.97>
- Breese, B. C., McNarry, M. A., Marwood, S., Blackwell, J. R., Bailey, S. J., & Jones, A. M. (2013). Beetroot juice supplementation speeds O₂ uptake kinetics and improves exercise tolerance during severe-intensity exercise initiated from an elevated metabolic rate. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 305(12), R1441–R1450. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00295.2013>
- Caraballo, I., Domínguez, R., Guerra-Hernandez, E. J., & Sánchez-Oliver, A. J. (2020). Analysis of Sports Supplements Consumption in Young Spanish Elite Dinghy Sailors. *Nutrients*, 12(4), 993. <https://doi.org/10.3390/nu12040993>
- Carr, A. J., Hopkins, W. G., & Gore, C. J. (2011). Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 41(10), 801–814. <https://doi.org/10.2165/11591440-000000000-00000>
- Chidnok, W., DiMenna, F. J., Fulford, J., Bailey, S. J., Skiba, P. F., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013). Muscle metabolic responses during high-intensity intermittent exercise measured by (31)P-MRS: relationship to the critical power concept. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 305(9), R1085–R1092. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00406.2013>
- Clifford, T., Berntzen, B., Davison, G. W., West, D. J., Howatson, G., & Stevenson, E. J. (2016). Effects of Beetroot Juice on Recovery of Muscle Function and Performance between Bouts of Repeated Sprint Exercise. *Nutrients*, 8(8), 506. <https://doi.org/10.3390/nu8080506>
- Coggan, A. R., Leibowitz, J. L., Kadkhodayan, A., Thomas, D. P., Ramamurthy, S., Spearie, C. A., Waller, S., Farmer, M., & Peterson, L. R. (2015). Effect of acute dietary nitrate intake on maximal knee extensor speed and power in healthy men and women. *Nitric oxide: biology and chemistry*, 48, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.08.014>
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 1(3), 98–101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>

- Corrigan, B., & Kazlauskas, R. (2003). Medication use in athletes selected for doping control at the Sydney Olympics (2000). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(1), 33–40. <https://doi.org/10.1097/00042752-200301000-00007>
- Cosby, K., Partovi, K. S., Crawford, J. H., Patel, R. P., Reiter, C. D., Martyr, S., Yang, B. K., Wacławski, M. A., Zalos, G., Xu, X., Huang, K. T., Shields, H., Kim-Shapiro, D. B., Schechter, A. N., Cannon, R. O., 3rd, & Gladwin, M. T. (2003). Nitrite reduction to nitric oxide by deoxyhemoglobin vasodilates the human circulation. *Nature medicine*, 9(12), 1498–1505. <https://doi.org/10.1038/nm954>
- Cuenca, E., Jodra, P., Pérez-López, A., González-Rodríguez, L. G., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herreros, P., & Domínguez, R. (2018). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. *Nutrients*, 10(9), 1222. <https://doi.org/10.3390/nu10091222>
- da Silva, J. K. F., Sotomaior, B. B., Carneiro, C. F., Rodrigues, P., Wharton, L., & Osiecki, R. (2021). Predicting Lactate Threshold With Rate of Perceived Exertion in Young Competitive Male Swimmers. *Perceptual and motor skills*, 128(4), 1530–1548. <https://doi.org/10.1177/00315125211005227>
- Denadai, B. S., Greco, C. C., & Teixeira, M. (2000). Blood lactate response and critical speed in swimmers aged 10-12 years of different standards. *Journal of sports sciences*, 18(10), 779–784. <https://doi.org/10.1080/026404100419838>
- Derave, W., & Tipton, K. D. (2014). Dietary supplements for aquatic sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(4), 437–449. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0017>
- Doel, J. J., Benjamin, N., Hector, M. P., Rogers, M., & Allaker, R. P. (2005). Evaluation of bacterial nitrate reduction in the human oral cavity. *European journal of oral sciences*, 113(1), 14–19. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00184.x>
- Domínguez, R., Garnacho-Castaño, M. V., & Maté-Muñoz, J. L. (2016). Efectos del entrenamiento contra resistencias o resistance training en diversas patologías. *Nutrición hospitalaria*, 33(3), 284. <https://doi.org/10.20960/nh.284>
- Domínguez, R., Garnacho-Castaño, M. V., Cuenca, E., García-Fernández, P., Muñoz-González, A., de Jesús, F., Lozano-Estevan, M. D. C., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herreros, P., & Maté-Muñoz, J. L. (2017a). Effects of Beetroot Juice Supplementation on a 30-s High-Intensity Inertial Cycle Ergometer Test. *Nutrients*, 9(12), 1360. <https://doi.org/10.3390/nu9121360>

- Domínguez, R., Jesús-Sánchez-Oliver, A., Cuenca, E., Jodra, P., Fernandes da Silva, S., & Mata-Ordóñez, F. (2017b). Nutritional needs in the professional practice of swimming: a review. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*, 21(4), 1–10. <https://doi.org/10.20463/jenb.2017.0030>
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., Veiga-Herreros, P., da Silva, S. F., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15, 2. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
- Domínguez, R., López-Domínguez, R., López-Samanes, Á., Gené, P., González-Jurado, J. A., & Sánchez-Oliver, A. J. (2020). Analysis of Sport Supplement Consumption and Body Composition in Spanish Elite Rowers. *Nutrients*, 12(12), 3871. <https://doi.org/10.3390/nu12123871>
- Duncan, C., Dougall, H., Johnston, P., Green, S., Brogan, R., Leifert, C., Smith, L., Golden, M., & Benjamin, N. (1995). Chemical generation of nitric oxide in the mouth from the enterosalivary circulation of dietary nitrate. *Nature medicine*, 1(6), 546–551. <https://doi.org/10.1038/nm0695-546>
- Emhoff, C. A., Messonnier, L. A., Horning, M. A., Fattor, J. A., Carlson, T. J., & Brooks, G. A. (2013). Gluconeogenesis and hepatic glycogenolysis during exercise at the lactate threshold. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 114(3), 297–306. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01202.2012>
- Esen, O., Nicholas, C., Morris, M., & Bailey, S. J. (2019). No Effect of Beetroot Juice Supplementation on 100-m and 200-m Swimming Performance in Moderately Trained Swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 14(6), 706–710. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0654>
- Estadística de deporte federado 2022. (2022). *Ministerio de Cultura y Deporte, España*. <https://estadisticas.mecd.gob.es/DeporteDynPx/deportebase/index.htm?type=pcaxis&path=/d1/f1/a2012/&file=pcaxis>
- Finamore, A., Benvenuti, L., De Santis, A., Cinti, S., & Rossi, L. (2022). Sportsmen's Attitude towards Dietary Supplements and Nutrition Knowledge: An Investigation in Selected Roman Area Gyms. *Nutrients*, 14(5), 945. <https://doi.org/10.3390/nu14050945>
- Fulford, J., Winyard, P. G., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., & Jones, A. M. (2013). Influence of dietary nitrate supplementation on human skeletal muscle metabolism and force production during maximum voluntary

- contractions. *Pflugers Archiv: European journal of physiology*, 465(4), 517–528. <https://doi.org/10.1007/s00424-013-1220-5>
- Garrido, N.D., Marinho, D.A., Barbosa, T.M., Costa, A.M., Silva, A. J., Pérez-Turpín, J.A., & Marques, M.C. (2010). Relationships between dry land strength, power variables and short sprint performance in young competitive swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*, 5(2), 240–249. <https://doi.org/10.4100/jhse.2010.52.12>
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 84–92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0413>
- Geladas, N. D., Nassis, G. P., & Pavlicevic, S. (2005). Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 26(2), 139–144. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817862>
- Govoni, M., Jansson, E. A., Weitzberg, E., & Lundberg, J. O. (2008). The increase in plasma nitrite after a dietary nitrate load is markedly attenuated by an antibacterial mouthwash. *Nitric oxide: biology and chemistry*, 19(4), 333–337. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2008.08.003>
- Hadzic, M., Eckstein, M. L., & Schugardt, M. (2019). The Impact of Sodium Bicarbonate on Performance in Response to Exercise Duration in Athletes: A Systematic Review. *Journal of sports science & medicine*, 18(2), 271–281.
- 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. (2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino acids*, 30(3), 279–289. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0299-9>
- Hellard, P., Scordia, C., Avalos, M., Mujika, I., & Pyne, D. B. (2017). Modelling of optimal training load patterns during the 11 weeks preceding major competition in elite swimmers. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 42(10), 1106–1117. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0180>
- Hellard, P., Avalos-Fernandes, M., Lefort, G., Pla, R., Mujika, I., Toussaint, J. F., & Pyne, D. B. (2019). Elite Swimmers' Training Patterns in the 25 Weeks Prior to Their Season's Best Performances: Insights Into Periodization From a 20-Years Cohort. *Frontiers in physiology*, 10, 363. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00363>

- Hernández, A., Schiffer, T. A., Ivarsson, N., Cheng, A. J., Bruton, J. D., Lundberg, J. O., Weitzberg, E., & Westerblad, H. (2012). Dietary nitrate increases tetanic $[Ca^{2+}]_i$ and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *The Journal of physiology*, 590(15), 3575–3583. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.232777>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hord, N. G., Tang, Y., & Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *The American journal of clinical nutrition*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131>
- Jiménez-Alfageme, R., Domínguez, R., Sanchez-Oliver, A. J., Tapia-Castillo, P., Martínez-Sanz, J. M., & Sospedra, I. (2022). Analysis of the Consumption of Sports Supplements in Open Water Swimmers According to the Competitive Level. *Nutrients*, 14(24), 5211. <https://doi.org/10.3390/nu14245211>
- Jin, R. C., & Loscalzo, J. (2010). Vascular nitric oxide: Formation and function. *Journal of Blood Medicine*, 147–162. <https://doi.org/10.2147/JBM.S7000>
- Jodra, P., Domínguez, R., Sánchez-Oliver, A. J., Veiga-Herreros, P., & Bailey, S. J. (2020). Effect of Beetroot Juice Supplementation on Mood, Perceived Exertion, and Performance During a 30-Second Wingate Test. *International journal of sports physiology and performance*, 15(2), 243–248. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0149>
- Jones, A. M. (2014). Influence of dietary nitrate on the physiological determinants of exercise performance: A critical review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(9), 1019–1028. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0036>
- Jones, A. M., Thompson, C., Wylie, L. J., & Vanhatalo, A. (2018). Dietary Nitrate and Physical Performance. *Annual review of nutrition*, 38, 303–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082117-051622>
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Seals, D. R., Rossman, M. J., Pikhova, B., & Jonvik, K. L. (2021). Dietary Nitrate and Nitric Oxide Metabolism: Mouth, Circulation, Skeletal Muscle, and Exercise Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 53(2), 280–294. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002470>
- Kelm, M. (1999). Nitric oxide metabolism and breakdown. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1411(2–3), 273–289. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(99\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(99)00020-1)

- Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery: A conceptual model. *Sports Medicine*, 26(1), 1–16. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00001>
- 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., Greenwood, M., Lowery, L. M., Wildman, R., Antonio, J., & Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>
- Knapik, J. J., Steelman, R. A., Hoedebecke, S. S., Austin, K. G., Farina, E. K., & Lieberman, H. R. (2016). Prevalence of Dietary Supplement Use by Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(1), 103–123. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0387-7>
- Kramer, S. J., Baur, D. A., Spicer, M. T., Vukovich, M. D., & Ormsbee, M. J. (2016). The effect of six days of dietary nitrate supplementation on performance in trained CrossFit athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13, 39. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0150-y>
- Kroll, J. L., Werchan, C. A., Rosenfield, D., & Ritz, T. (2018). Acute ingestion of beetroot juice increases exhaled nitric oxide in healthy individuals. *PloS one*, 13(1), e0191030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191030>
- Lanhers, C., Pereira, B., Naughton, G., Trousselard, M., Lesage, F. X., & Dutheil, F. (2017). Creatine Supplementation and Upper Limb Strength Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(1), 163–173. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0571-4>
- Latella, C., Grgic, J., & Van der Westhuizen, D. (2019). Effect of intersets strategies on acute resistance training performance and physiological responses: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(1), 180–193. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003120>
- López Chicharro, J., & Fernández Vaquero, A. (2010). *Fisiología del ejercicio*. Médica Panamericana.
- López-Samanes, Á., Pérez-López, A., Moreno-Pérez, V., Nakamura, F. Y., Acebes-Sánchez, J., Quintana-Milla, I., Sánchez-Oliver, A. J., Moreno-Pérez, D., Fernández-Elías, V. E., & Domínguez, R. (2020). Effects of Beetroot Juice Ingestion on Physical Performance in Highly Competitive Tennis Players. *Nutrients*, 12(2), 584. <https://doi.org/10.3390/nu12020584>

- Lowings, S., Shannon, O. M., Deighton, K., Matu, J., & Barlow, M. J. (2017). Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Swimming Performance in Trained Swimmers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 27(4), 377–384. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0251>
- Luna, D. P. E. (2012). El deporte y la ergogenia: Una mirada desde la bioética. *Acta Bioethica*, 23(3), 349–354. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(12\)70321-8](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(12)70321-8)
- Lundberg, J. O., Weitzberg, E., & Gladwin, M. T. (2008). The nitrate–nitrite–nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*, 7(2), 156–167. <https://doi.org/10.1038/nrd2466>
- Marzano, R. J., Pickering, D. J., & Heflebower, T. (2011). *The highly engaged classroom*. Marzano Research.
- Mata, F., Domínguez, R., López-Samanes, Á., Sánchez-Gómez, Á., Jodra, P., & Sánchez-Oliver, A. J. (2021). Analysis of the consumption of sports supplements in elite fencers according to sex and competitive level. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 13(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00278-0>
- 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., Meeusen, R., van Loon, L., Shirreffs, S. M., Spriet, L. L., Stuart, M., Vernec, A., Currell, K., Ali, V. M., Budgett, R. G. M., Ljungqvist, A., ... Engebretsen, L. (2018a). IOC Consensus Statement: Dietary Supplements and the High-Performance Athlete. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 104–125. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0020>
- Maughan, R. J., Shirreffs, S. M., & Vernec, A. (2018b). Making decisions about supplement use. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(2), 212–219. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0009>
- McCubbin, A. J., Allanson, B. A., Caldwell Odgers, J. N., Cort, M. M., Costa, R. J. S., Cox, G. R., Crawshaw, S. T., Desbrow, B., Freney, E. G., Gaskell, S. K., Hughes, D., Irwin, C., Jay, O., Lalor, B. J., Ross, M. L. R., Shaw, G., Périard, J. D., & Burke, L. M. (2020). Sports Dietitians Australia Position Statement: Nutrition for Exercise in Hot Environments. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 30(1), 83–98. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0300>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2022). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International journal of sports physiology and performance*, 17(2), 317–331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>

- McMahon, N. F., Leveritt, M. D., & Pavey, T. G. (2017). The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(4), 735–756. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0617-7>
- Mendez-Villanueva, A., Edge, J., Suriano, R., Hamer, P., & Bishop, D. (2012). The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PloS one*, 7(12), e51977. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051977>
- Miraftabi, H., Avazpoor, Z., Berjisian, E., Sarshin, A., Rezaei, S., Domínguez, R., Reale, R., Franchini, E., Samanipour, M. H., Koozehchian, M. S., Willems, M. E. T., Rafiei, R., & Naderi, A. (2021). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cognitive Function, Aerobic and Anaerobic Performances of Trained Male Taekwondo Athletes: A Pilot Study. *International journal of environmental research and public health*, 18(19), 10202. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910202>
- Modin, A., Björne, H., Herulf, M., Alving, K., Weitzberg, E., & Lundberg, J. O. (2001). Nitrite-derived nitric oxide: a possible mediator of 'acidic-metabolic' vasodilation. *Acta physiologica Scandinavica*, 171(1), 9–16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00771.x>
- Morais, J. E., Jesus, S., Lopes, V., Garrido, N., Silva, A., Marinho, D., & Barbosa, T. M. (2012). Linking selected kinematic, anthropometric and hydrodynamic variables to young swimmer performance. *Pediatric exercise science*, 24(4), 649–664. <https://doi.org/10.1123/pes.24.4.649>
- Morais, J. E., Barbosa, T. M., Forte, P., Silva, A. J., & Marinho, D. A. (2021). Young Swimmers' Anthropometrics, Biomechanics, Energetics, and Efficiency as Underlying Performance Factors: A Systematic Narrative Review. *Frontiers in physiology*, 12, 691919. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.691919>
- Mosher, S. L., Sparks, S. A., Williams, E. L., Bentley, D. J., & Mc Naughton, L. R. (2016). Ingestion of a Nitric Oxide Enhancing Supplement Improves Resistance Exercise Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 30(12), 3520–3524. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001437>
- Muggeridge, D. J., Howe, C. C., Spendiff, O., Pedlar, C., James, P. E., & Easton, C. (2013). The effects of a single dose of concentrated beetroot juice on performance in trained flatwater kayakers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 23(5), 498–506. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.498>

- Muñoz, A., López-Samanes, Á., Domínguez, R., Moreno-Pérez, V., Jesús Sánchez-Oliver, A., & Del Coso, J. (2020). Use of Sports Supplements in Competitive Handball Players: Sex and Competitive Level Differences. *Nutrients*, 12(11), 3357. <https://doi.org/10.3390/nu12113357>
- Nevill, A. M., Negra, Y., Myers, T. D., Sammoud, S., & Chaabene, H. (2020). Key somatic variables associated with, and differences between the 4 swimming strokes. *Journal of sports sciences*, 38(7), 787–794. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1734311>
- Newbury, J. W., Sparks, S. A., Cole, M., Kelly, A. L., & Gough, L. A. (2023). Nutritional Supplement Use in a UK High-Performance Swimming Club. *Nutrients*, 15(15), 3306. <https://doi.org/10.3390/nu15153306>
- Nugent, F. J., Comyns, T. M., Burrows, E., & Warrington, G. D. (2017). Effects of Low-Volume, High-Intensity Training on Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Journal of strength and conditioning research*, 31(3), 837–847. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001583>
- Pawlak-Chaouch, M., Boissière, J., Munyaneza, D., Gamelin, F. X., Cuvelier, G., Berthoin, S., & Aucouturier, J. (2019). Beetroot Juice Does Not Enhance Supramaximal Intermittent Exercise Performance in Elite Endurance Athletes. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(8), 729–738. <https://doi.org/10.1080/07315724.2019.1601601>
- Peeling, P., Binnie, M. J., Goods, P. S. R., Sim, M., & Burke, L. M. (2018). Evidence-Based Supplements for the Enhancement of Athletic Performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(2), 178–187. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0343>
- Philippu, A. (2016). Nitric oxide: A universal modulator of brain function. *Neurochemical Research*, 41(10), 2643–2652. <https://doi.org/10.1007/s11064-016-1960-y>
- Pinna, M., Roberto, S., Milia, R., Marongiu, E., Olla, S., Loi, A., Migliaccio, G. M., Padulo, J., Orlandi, C., Tocco, F., Concu, A., & Crisafulli, A. (2014). Effect of beetroot juice supplementation on aerobic response during swimming. *Nutrients*, 6(2), 605–615. <https://doi.org/10.3390/nu6020605>
- Poderoso, J. J., Helfenberger, K., & Poderoso, C. (2019). The effect of nitric oxide on mitochondrial respiration. *Nitric oxide: biology and chemistry*, 88, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2019.04.005>

- Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(4), 351–359. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0047>
- Richardson, R. S., Noyszewski, E. A., Kendrick, K. F., Leigh, J. S., & Wagner, P. D. (1995). Myoglobin O₂ desaturation during exercise. Evidence of limited O₂ transport. *The Journal of clinical investigation*, 96(4), 1916–1926. <https://doi.org/10.1172/JCI118237>
- Rimer, E. G., Peterson, L. R., Coggan, A. R., & Martin, J. C. (2016). Increase in Maximal Cycling Power With Acute Dietary Nitrate Supplementation. *International journal of sports physiology and performance*, 11(6), 715–720. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0533>
- Roschel, H., Gualano, B., Ostojic, S. M., & Rawson, E. S. (2021). Creatine Supplementation and Brain Health. *Nutrients*, 13(2), 586. <https://doi.org/10.3390/nu13020586>
- Ruiz-Navarro, J. J., López-Belmonte, Ó., Gay, A., Cuenca-Fernández, F., & Arellano, R. (2023). A new model of performance classification to standardize the research results in swimming. *European journal of sport science*, 23(4), 478–488. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2046174>
- Sánchez Oliver, A. J. (2012). *Suplementación nutricional en la actividad físico-deportiva: Análisis de la calidad del suplemento proteico consumido* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/26382>
- Sánchez Oliver, A. J., Miranda León, M. T., & Guerra Hernández, E. (2011). Prevalence of protein supplement use at gyms. *Nutrición Hospitalaria*, 26(5), 1168–1174. <https://doi.org/10.1590/S0212-16112011000500037>
- Sánchez-Oliver, A. J., Grimaldi-Puyana, M., & Domínguez, R. (2019). Evaluation and Behavior of Spanish Bodybuilders: Doping and Sports Supplements. *Biomolecules*, 9(4), 122. <https://doi.org/10.3390/biom9040122>
- Sánchez-Oliver, A. J., Domínguez, R., López-Tapia, P., Tobal, F. M., Jodra, P., Montoya, J. J., Guerra-Hernández, E. J., & Ramos-Álvarez, J. J. (2020). A Survey on Dietary Supplement Consumption in Amateur and Professional Rugby Players. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.3390/foods10010007>
- Santana, J., Madureira, D., de França, E., Rossi, F., Rodrigues, B., Fukushima, A., Billaut, F., Lira, F., & Caperuto, E. (2019). Nitrate Supplementation Combined with a Running Training Program Improved Time-Trial Performance in Recreationally Trained

- Runners. *Sports* (Basel, Switzerland), 7(5), 120.
<https://doi.org/10.3390/sports7050120>
- Senefeld, J. W., Wiggins, C. C., Regimbal, R. J., Dominelli, P. B., Baker, S. E., & Joyner, M. J. (2020). Ergogenic Effect of Nitrate Supplementation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(10), 2250–2261.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002363>
- Shannon, O. M., Allen, J. D., Bescos, R., Burke, L., Clifford, T., Easton, C., Gonzalez, J. T., Jones, A. M., Jonvik, K. L., Larsen, F. J., Peeling, P., Piknova, B., Siervo, M., Vanhatalo, A., McGawley, K., & Porcelli, S. (2022). Dietary Inorganic Nitrate as an Ergogenic Aid: An Expert Consensus Derived via the Modified Delphi Technique. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(10), 2537–2558. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01701-3>
- Shaw, G., Slater, G., & Burke, L. M. (2016). Supplement use of elite Australian swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(3), 249–258.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0182>
- Siegler, J. C., Marshall, P. W., Bishop, D., Shaw, G., & Green, S. (2016). Mechanistic Insights into the Efficacy of Sodium Bicarbonate Supplementation to Improve Athletic Performance. *Sports medicine - open*, 2(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40798-016-0065-9>
- Silva, K. V. C., Costa, B. D., Gomes, A. C., Saunders, B., & Mota, J. F. (2022). Factors that Moderate the Effect of Nitrate Ingestion on Exercise Performance in Adults: A Systematic Review with Meta-Analyses and Meta-Regressions. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 13(5), 1866–1881.
<https://doi.org/10.1093/advances/nmac054>
- Tan, R., Cano, L., Lago-Rodríguez, Á., & Domínguez, R. (2022). The Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Explosive Exercise Performance: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(2), 762. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020762>
- Thompson, C., Wylie, L. J., Fulford, J., Kelly, J., Black, M. I., McDonagh, S. T., Jeukendrup, A. E., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2015). Dietary nitrate improves sprint performance and cognitive function during prolonged intermittent exercise. *European journal of applied physiology*, 115(9), 1825–1834.
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3166-0>

- Toubekis, A. G., Tsami, A. P., & Tokmakidis, S. P. (2006). Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 117–123. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837487>
- Trinidad, A., Navandar, A., Navarro, E., & Veiga, S. (2022). Kinematic determinants of the swimming push start in competitive swimmers. *Applied Sciences*, 12(18), Article 9278. <https://doi.org/10.3390/app12189278>
- Veiga, S., Cala, A., Mallo, J., & Navarro, E. (2013). A new procedure for race analysis in swimming based on individual distance measurements. *Journal of sports sciences*, 31(2), 159–165. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.723130>
- Veiga, S., Lorenzo, J., Trinidad, A., Pla, R., Fallas-Campos, A., & de la Rubia, A. (2022). Kinematic Analysis of the Underwater Undulatory Swimming Cycle: A Systematic and Synthetic Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12196. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912196>
- Ventura Comes, A., Sánchez-Oliver, A. J., Martínez-Sanz, J. M., & Domínguez, R. (2018). Analysis of Nutritional Supplements Consumption by Squash Players. *Nutrients*, 10(10), 1341. <https://doi.org/10.3390/nu10101341>
- Wardenaar, F. C., Ceelen, I. J., Van Dijk, J. W., Hangelbroek, R. W., Van Roy, L., Van der Pouw, B., De Vries, J. H., Mensink, M., & Witkamp, R. F. (2017). Nutritional Supplement Use by Dutch Elite and Sub-Elite Athletes: Does Receiving Dietary Counseling Make a Difference?. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 27(1), 32–42. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2016-0157>
- Webster, C. C., Noakes, T. D., Chacko, S. K., Swart, J., Kohn, T. A., & Smith, J. A. (2016). Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high-fat diet. *The Journal of physiology*, 594(15), 4389–4405. <https://doi.org/10.1113/JP271934>
- Westerblad, H., Allen, D. G., & Lännergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News in physiological sciences: an international journal of physiology produced jointly by the International Union of Physiological Sciences and the American Physiological Society*, 17, 17–21. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.2002.17.1.17>
- Wylie, L. J., Mohr, M., Krstrup, P., Jackman, S. R., Ermidis, G., Kelly, J., Black, M. I., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013). Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *European journal of applied physiology*, 113(7), 1673–1684. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2589-8>

- Zamani, H., de Joode, M. E. J. R., Hossein, I. J., Henckens, N. F. T., Guggeis, M. A., Berends, J. E., de Kok, T. M. C. M., & van Breda, S. G. J. (2021). The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(5), 788–804. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1746629>
- Zhou, D. D., Luo, M., Shang, A., Gan, R. Y., Li, H. B., & Li, Y. (2021). Antioxidant food components for the prevention and treatment of cardiovascular diseases: Effects, mechanisms, and clinical studies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, Article 6627355. <https://doi.org/10.1155/2021/6627355>

9. Anexos

9.1. Anexo 1- Formulario estudio del consumo de suplementos en natación

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

Estimad@ amig@, estamos realizando un estudio sobre el uso de suplementos en su deporte. Su colaboración nos será de gran ayuda, estándole agradecidos enormemente si de modo altruista decide contestar a estas preguntas. Su identidad permanecerá en el anonimato, y sólo se usarán los datos de manera estadística para conocer la realidad del consumo de suplementos nutricionales en el Natación. La Ley Orgánica de Protección de Datos será respetada en todo momento.

ESTUDIO DEL CONSUMO DE SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN

A- DATOS INICIALES

1. FECHA DE NACIMIENTO
2. SEXO
 - ☐ Hombre
 - ☐ Mujer
3. ALTURA APROXIMADA EN CENTÍMETROS (cm)
4. PESO APROXIMADO EN KILOGRAMOS (kg)
5. % APROXIMADO DE GRASA (Solo si se sabe la respuesta)

B- PRÁCTICA – NATACIÓN

6. INDICA EL NÚMERO DE AÑOS APROXIMADO QUE LLEVAS COMPITIENDO EN NATACIÓN
 - 1 año
 - 2 años
 - 3 años
 - 4 años
 - 5 años
 - 6 años
 - 7 años
 - 8 años
 - 9 años
 - 10 o más años
7. INDICA EL ÁMBITO EN EL QUE COMPITES ACTUALMENTE
 - Autonómico
 - Local
 - Provincial
 - Nacional

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqiqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

C- ENTRENAMIENTO Y COMPETICIÓN

8. ¿CUÁNTOS DÍAS DE MEDIA DEDICAS AL ENTRENAMIENTO A LA SEMANA? (APROXIMADAMENTE)
- 1 día
 - 2 días
 - 3 días
 - 4 días
 - 5 días
 - 6 días
 - 7 días
9. ¿CUÁNTAS SESIONES A LA SEMANA DEDICAS AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA FUERA DEL AGUA? (APROXIMADAMENTE)
- 1 día
 - 2 días
 - 3 días
 - 4 días
 - 5 días
 - 6 días
 - 7 días
10. ¿CUÁNTO TIEMPO, APROXIMADAMENTE, DEDICAS CADA DÍA AL ENTRENAMIENTO?
- < 30 minutos
 - Entre 30 minutos y 1 hora
 - Entre 1 hora y 1,5 horas
 - Entre 1,5 horas y 2 horas
 - Entre 2 horas y 2,5 horas
 - Entre 2,5 horas y 3 hora
 - > 3 horas
11. INDICA EL ESTILO O ESTILOS EN EL QUE ERES ESPECIALISTA
- Crol
 - Espalda
 - Braza
 - Mariposa
 - Otro:

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

12. INDICA LA PRUEBA EN LA QUE TE CONSIDERES MÁS ESPECIALISTA

- ☐ Libre: 50 m
- ☐ Libre: 100 m
- ☐ Libre: 200 m
- ☐ Libre: 400 m
- ☐ Libre: 800 m
- ☐ Libre: 1.500 m
- ☐ Espalda: 100 m
- ☐ Espalda: 200 m
- ☐ Braza: 100 m
- ☐ Braza: 200 m
- ☐ Mariposa: 100 m
- ☐ Mariposa: 200 m
- ☐ Individuales estilos:100m
- ☐ Individual estilos: 200m
- ☐ Individual estilos: 400m

D- SUPLEMENTOS

13. ¿ESTÁS A FAVOR DEL CONSUMO DE SUPLEMENTOS EN LA ACTIVIDAD FÍSICA DENTRO DE LA LEGALIDAD?

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ No sabes/No contestas

14. ¿HAS CONSUMIDO EN ALGUNA OCASIÓN ALGÚN SUPLEMENTO NUTRICIONAL?

- ☐ Si
- ☐ No

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

15. SEÑALA CUALES DE ESTOS SUPLEMENTOS HAS CONSUMIDO ESTÁN ORDENADOS ALFABÉTICAMENTE. PUEDES SEÑALAR TANTOS CUANTO HAYAS CONSUMIDO.

- Aceite de Hígado de Bacalao
- Aceite de Lino
- Aceite de Onagra Aceite de Prímula
- Amilopectina
- Aminoácidos esenciales (EEAA)
- Aminoácidos ramificados(BCAA)
- Arginina
- Barritas Energéticas
- Bebida Isotónica
- Beta Alanina Bicarbonatos
- Bloqueadores de Carbohidratos
- Cafeína
- Carbohidratos ("Gainers")
- Carnitina (Acetil-L-Carnitina)
- Carnitina (L-Carnitina)
- Cartílago de Tiburón
- Caseína Micelar
- Chitosan
- Ciclodextrinas Cinc
- Citrulina (Malato o L-citrulina)
- Complejo Mineral
- Complejo Vitamínico
- Condroitina
- Creatina (Monohidrato)
- Creatina (Kre-Alkalyn)
- Creatina (Etil Éster)
- Curcumina
- Dextrosa
- Dimetilglicina
- Diuréticos
- Electrolitos (en polvo o pastillas)
- Epicatequina
- Epigallocatequina-3-galato (EGCG)
- Espirulina
- Fórmulas pre-entreno
- Fosfato de sodio
- Ginseng
- Glicerol
- Glucosamina
- Glutamina
- Greens
- Guarana
- Hidrolizado de caseína
- Hidroximetilbutirato (HMB)
- Hierro
- Isomaltulosa
- Jalea Real
- Lecitina de Soja
- Leucina
- Levadura de Cerveza
- Magnesio

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

- Maltodextrina
- Melatonina
- Metil-sulfonil-metano (MSM)
- Nitrato (zumo de remolacha)
- Nootrópicos
- Picolinato de Cromo
- Polen
- Potenciador de Testosterona
- Precursor Hormonal
- Probióticos
- Proteína de Carne
- Proteína de Suero (WheyProtein)
- Proteína Vegetal (soja, cáñamo...)
- Quercetina Ribosa
- Sinefrina (p-sinefrina)
- Suplemento de cereza ácida
- Taurina
- Teanina
- Teacria
- Té verde (completo o extractos)
- Tribulus
- Tirosina
- Triglicéridos de cadena media (MCT)
- Vitamina C
- VitaminaD
- VitaminaE
- VitaminK
- Yohimbia
- ZMA
- Otro:

16. ¿CONSUMES ALGÚN SUPLEMENTO DE LOS MARCADOS EN LA ACTUALIDAD?

- Si
- No

17. INDICA QUÉ DÍAS DE PRACTICA DEPORTIVA SUELES CONSUMIRLOS

- Entrenamiento
- Competición
- Entrenamiento y competición
- Periodo vacacional o de descanso
- En todos los casos anteriormente mencionados
- Otro: _____

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqiqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

18. INDICA CUANDO SUELES CONSUMIRLOS

- Antes de la práctica deportiva
- Durante la práctica deportiva
- Después de la práctica deportiva
- En todos los casos anteriores
- Indiferentemente
- Otros

19. ¿CON QUÉ FIN LOS CONSUMÍAS?

- Para cuidar tu salud
- Por problemas de salud
- Por necesidad
- Por obligación
- Para mejorar su aspecto físico
- Para buscar rendimiento deportivo
- Por paliar algún déficit de la dieta
- Otro:

20. ¿DONDE SUELES COMPRAR LOS SUPLEMENTOS?

- En una Farmacia
- En un Gimnasio
- A un Amigo
- A un Monitor
- A un Dietista-Nutricionista
- En un Herbolario
- En un Centro Comercial
- En una Parafarmacia
- En Internet
- En una Tienda especializada
- Otros

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqiqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

21. ¿QUÉ/QUIEN TE MOTIVÓ A TOMARLOS?

- Compañero de equipo
- Entrenador
- Internet
- Monitor
- Publicidad
- Dietista-Nutricionista
- Revista especializada
- Televisión
- Preparador Físico
- Médico
- Amigo
- Otro:

22. EN GENERAL, ¿CREES QUE TE DIERON RESULTADOS?

	1	2	3	4	5	
NINGÚN USO	☐	☐	☐	☐	☐	MUCHO RESULTADO

23. SI FUERA EL CASO, ESCRIBE ALGÚN/OS DE LOS SUPLEMENTOS QUE CREES QUE NO TE DIERON NINGÚN RESULTADO

24. SI FUERA EL CASO, ESCRIBE ALGÚN/OS DE LOS SUPLEMENTOS QUE CREES QUE SI TE DIERON RESULTADO

25. ¿HAS CONSUMIDO O CONSUMIRÍAS ALGÚN SUPLEMENTO QUE FUERA PERJUDICIAL PARA LA SALUD PERO QUE TE AYUDARA A CONSEGUIR TUS OBJETIVOS?

- Si
- No
- No sabe/No contesta

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

**ESTUDIO DEL CONSUMO DE
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN NATACIÓN**

E- SUSTANCIAS PROHIBIDAS

26. EN EL CASO QUE LA PREGUNTA ANTERIOR SEA AFIRMATIVA, SEÑALA CUÁL/ES DE LA SIGUIENTE LISTA HAS CONSUMIDO O CONSUMIRÍAS

- ☐ Esteroides anabolizantes
- ☐ Hormona de crecimiento
- ☐ Insulina
- ☐ Efedrina
- ☐ Pseudoanfetaminas
- ☐ Otros

F- CONSUMO DE SUSTANCIAS PROHIBIDAS EN NATACIÓN

27. INDICA, DESDE TU PUNTO DE VISTA, EL USO GENÉRICO DE ESTE TIPO DE SUSTANCIAS EN EL NATACIÓN

	1	2	3	4	5	
NINGÚN USO	☐	☐	☐	☐	☐	MUCHO USO

<https://docs.google.com/forms/d/1bglqiqRozDjkXyhV4n5DjGJn53b6CdktcNUvV3mTHeU/edit>

9.2. Anexo 2- Comité de ética



COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE VITORIA
DICTAMEN DEL PROYECTO

D. Alberto López Rosado como Presidente del Comité de Ética de Investigación de la Universidad Francisco de Vitoria

DICTAMINA,

Que el proyecto de investigación registrado con el número 42/2021 y titulado: “*Valoración del efecto de suplementación con zumo de remolacha (ZR) en nadadores*”, dirigido por D^a. Berta Moreno Heredero, ha sido valorado en sus aspectos metodológicos, éticos y legales, en la sesión del CEI del día 7 de julio de 2021 obteniendo como resultado una:

Resolución favorable, condicionado a las cláusulas de protección de datos.

Pozuelo de Alarcón a 7 de julio de 2021



Alberto López Rosado

Presidente del Comité

Vicerrector de Investigación y Postgrado



- Biblioteca
- Administración y Servicios Generales
- Calidad Formación e Innovación Docente
- Colegio Mayor

Ctra. Pozuelo - Majadahonda, Km. 1,800 • 28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid)
Tels.: 91 351 03 03 / 91 709 14 00 • Fax: 91 351 17 16 • info@ufv.es • www.ufv.es





Parecer

Dados do Funcionário

Nome: Teresa Isaltina Gomes Correia

Email: teresaicorreia@ipb.pt

Filiação: /Comissões Especializadas/Ética/Presidente

Parecer

Anexo, Parecer N° 79 decorrente da reunião da CE do dia 8 de abril de 2022.

Data

11/04/2022



Comissão de Ética do Instituto Politécnico de Bragança

PARECER N.º 79/2022

Sobre o processo: Título do assunto: Estudo sobre “EFEITOS DA INGESTÃO DE SUMO DE BETERRABA NO DESEMPENHO DESPORTIVO EM NADADORES DE ELITE. UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO” - ESE

Número: 358841

A - Questões com eventuais implicações éticas.

B – Conclusões

1 Face ao exposto a Comissão de Ética do IPB decide emitir, Parecer:

- ☒ Deferido
- ☐ Indeferido
- ☐ Condicional

Aprovado em reunião do dia 8/04/2022, por unanimidade.

A Presidente da Comissão de Ética do IPB

Assinado por: **Teresa Isaltina Gomes Correia**

Num. de Identificação: B105920982

Data: 2022.04.10 16:28:27 +0100



9.3. Anexo 3- Consentimiento informado

INSTRUCCIONES y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del Proyecto: **TRABAJO DE VALORACIÓN DEL EFECTO DE SUPLEMENTACIÓN CON ZUMO DE REMOLACHA (ZR) EN NADADORES**

Instrucciones previas:

-24 horas previas al estudio no ingerir alimentos o sustancias con cafeína como, por ejemplo:

- Taza de café.
- Taza de té.
- Chocolate negro.
- Semillas de girasol (pipas).
- Bebidas energéticas.
- Bebidas refrescantes.

-Beber 70 ml 3 hora previa al etto en agua.

Posibles efectos secundarios de los participantes entre 0h y 24h de su ingesta:

Puede ocasionar coloración roja de orina y heces.

Protocolo de la Toma de Datos

Cada uno de vosotros realizareis dos sesiones separadas por 18 días en vuestra piscina y a la misma hora habitual de entrenamiento. Seréis informados con anterioridad del protocolo de estudio y de las recomendaciones dietéticas, rica en macronutrientes (60% Hidratos de carbono, 30% grasas y 10% proteína) 48 horas antes de la intervención.

Es importante intentar restringir la ingesta de cafeína u otros suplementos (SS) y de alimentos ricos en nitratos 24 horas antes de cada día de la prueba. También tendréis que ir en ayunas y sin limpieza bucal la noche anterior y el día de la prueba. Al llegar a la instalación, inmediatamente tomareis un shot Beet-It, de 70ml de placebo (PL) o de zumo de remolacha (BJ). Debéis llegar 3 horas antes (de iniciar el test 6x100m.) e inmediatamente tomar el shot de PL o BJ. Posteriormente se os medirá la temperatura timpánica, se os pesará y se os medirá lactato en reposo mediante un "pinchacito" en el dedo índice.

Terminadas las mediciones, pasareis a realizar vuestro calentamiento habitual en seco y antes de realizar el calentamiento en agua, haremos otra medición, una prueba de potencia de tren inferior, Counter Movement Jump (CMJ) para que a las 3 horas después de la ingesta del SS coincida con el test 6x100m crol a ritmo de prueba (RP).

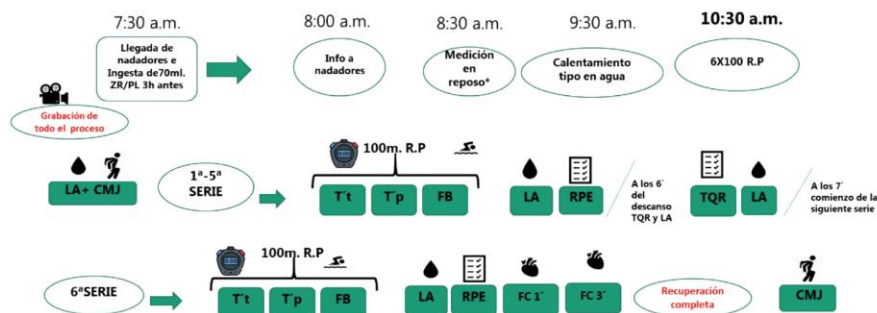


INSTRUCCIONES y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Seréis repartidos por vuestro entrenador en las 6 calles. Cada uno de vosotros realizareis 6 repeticiones de 100m a crol con 7 minutos de recuperación entre cada serie. Durante los 7 minutos de descanso, se os tomara otra muestra de lactato en el dedo índice inmediatamente después de acabar cada 100m. También, mediante dos escalas subjetivas, se os pedirá que valoréis el esfuerzo percibido (RPE) al terminar cada 100m y justo antes de empezar el siguiente 100m., se os preguntará con otra escala, la calidad de recuperación (TQR). Después de que realicéis el último 100m., se os tomara el pulso inmediatamente al salir y a los 3 minutos. Después de cumplir con el último descanso, repetiréis la prueba CMJ.

A continuación, se os facilita un esquema de la toma de datos y su procedimiento para que os resulte más fácil su comprensión.

DISEÑO y PROCEDIMIENTO



INSTRUCCIONES y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del Proyecto: **TRABAJO DE VALORACIÓN DEL EFECTO DE SUPLEMENTACIÓN CON ZUMO DE REMOLACHA (ZR) EN NADADORES**

D./Dña, con fecha de nacimiento: y con DNI nº, manifiesta que ha sido convenientemente informado por el investigador responsable del proyecto, Berta Moreno Heredero, quien le ha explicado las actividades que se van a realizar y ha resuelto todas sus dudas por lo que afirma que es conocedor de lo que su participación supone, incluyendo todos los beneficios y riesgos que podría suponer su participación en este estudio, que son los siguientes:

El beneficio derivado de tu participación será:

- A nivel individual: La posibilidad de obtener información sobre tu rendimiento deportivo con la ingesta del ZR, pudiendo tener, por tanto, si así lo solicitas, tus resultados de las diferentes pruebas realizadas.
- A nivel social: La obtención de información muy útil para establecer el efecto que tiene la suplementación con ZR de tu rendimiento deportivo y en las diferentes variables que vamos a estudiar.

Los riesgos derivados de tu participación se limitan a:

- Posibilidad de lesión en la realización de las pruebas, por algún accidente que pudiese acontecer en la realización de estas. En cualquier caso, el riesgo de lesión no será mayor al de otros entrenamientos. Los investigadores minimizarán el riesgo de lesión estableciendo un calentamiento estandarizado con una parte específica.
- Existe también el riesgo de que el ZR te genere cierta intolerancia tras su consumo.

Por ello, su firma en el presente documento significa que participa voluntariamente en los procedimientos experimentales explicados en la hoja informativa y que OTORGA su CONSENTIMIENTO para el uso de sus datos y muestras obtenidas, con el único fin de cubrir los objetivos especificados del presente estudio.

Madrid a..... de.....del.....

Fdo.



INSTRUCCIONES y CONSENTIMIENTO INFORMADO

Información básica relativa a la protección de sus datos de carácter personal:

El responsable del tratamiento de sus datos es la Universidad Francisco de Vitoria (UFV).

La finalidad del tratamiento es gestionar su participación en el proyecto "Valoración del efecto de suplementación con zumo de remolacha (ZR) en nadadores" tal y como se describe en este documento,

La legitimación del tratamiento es el consentimiento del interesado marcando las casillas destinadas a tal efecto. Sus datos personales no serán comunicados a terceros. Los datos serán conservados mientras sea necesario para los fines de investigación científica que persigue el proyecto de investigación anteriormente señalado y, una vez finalizado el proyecto de investigación, los datos podrán anonimizarse debido al interés científico del estudio.

Puede ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, supresión, oposición, limitación del tratamiento y portabilidad mediante un escrito dirigido a la Secretaría General de la Universidad Francisco de Vitoria, Ctra. M-515 Pozuelo-Majadahonda Km. 1,800; 28223, Pozuelo de Alarcón (Madrid), o al correo electrónico dpd@ufv.es.

Si en algún momento nos facilita datos de terceras personas, le informamos de que queda obligado a informar al interesado sobre el contenido de esta cláusula. El participante queda informado que no puede facilitar información que identifique a terceros sin obtener su consentimiento previo y por escrito.

Puede consultar la información ampliada en la web <https://www.ufv.es/politica-de-privacidad>

Si ☐ No ☐ Acepto y autorizo a que mis datos sean tratados por la Universidad Francisco de Vitoria, con la finalidad de participar en el proyecto de investigación y para remitirme, por cualquier medio, incluidos los electrónicos (correo electrónico), comunicaciones relativas a mi participación en el proyecto de investigación referenciado.

Consentimiento especial en relación con el tratamiento de datos de salud: en el proyecto de investigación referenciado se pueden llegar a tratar datos sobre su salud. Para poder utilizarlos con fines de investigación científica, debe autorizar a la Universidad Francisco de Vitoria dicho tratamiento mediante el correspondiente consentimiento explícito marcando la siguiente casilla.

Si ☐ No ☐ Acepto y autorizo a que mis datos de salud obtenidos a través de la participación voluntaria en este proyecto de investigación sean tratados por la Universidad Francisco de Vitoria.

