



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

# TRABAJO FIN DE GRADO

**Investigación aplicada**

**Doble Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y en  
Educación Primaria con mención en lengua extranjera: inglés**

**Alumno:** Miguel Castillejos Donaire

**Profesor:** Diego Moreno Pérez

**Curso:** 2020-2021

10 de diciembre de 2020





## INVESTIGACIÓN APLICADA

*Toda meta conlleva un poco de sudor*

**Etapas:** 5º CCAFYD + Educación Primaria

**Curso:** 2020-2021

## ÍNDICE

<b>1. Resumen/Abstract y palabras clave.</b>	1
<b>2. Introducción y justificación del tema elegido.</b>	3
<b>3. Marco teórico.</b>	5
<b>3.1. Historia del atletismo/modalidades del atletismo.</b>	5
<b>3.2. Factores determinantes del rendimiento.</b>	7
3.2.1. Consumo máximo de oxígeno (VO <sub>2</sub> max).	7
3.2.2. Umbral anaeróbico (índice de resistencia).	9
3.2.3. Economía o eficiencia energética.	10
3.2.4. Capacidad y potencia anaeróbicas.	11
<b>3.3. Ayudas ergogénicas.</b>	13
3.3.1. Ayudas ergogénicas nutricionales.	15
<b>3.4. Ayudas ergogénicas nutricionales – suplementos dietéticos.</b>	16
3.4.1. Suplementos dietéticos.	16
3.4.2. Macronutrientes.	17
3.4.3. Micronutrientes.	23
<b>3.5. Estudios de investigación entre el efecto de los nitratos del zumo de remolacha y el deporte.</b>	25
<b>4. Objetivos e hipótesis.</b>	38
<b>5. Método.</b>	39
<b>5.1. Participantes.</b>	40
<b>5.2. Instrumentos.</b>	41
<b>5.3. Procedimiento.</b>	42
5.3.1. Datos personales.	43
5.3.2. Calentamiento.	43

5.3.3. Saltos y fuerza isométrica.....	44
5.3.4. Velocidad. ....	45
<b>5.4. Análisis de datos. ....</b>	<b>45</b>
<b>6. Resultados. ....</b>	<b>46</b>
<b>7. Discusión. ....</b>	<b>49</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>53</b>
<b>9. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>54</b>
<b>10. Anexos.....</b>	<b>59</b>

## **1. Resumen/Abstract y palabras clave.**

Resumen: La suplementación con jugo de remolacha (BJ) mejora el rendimiento en esfuerzos de resistencia cíclica por el efecto agudo de la vasodilatación, generando más eficiencia a la hora de transportar nutrientes y oxígeno, y permitiendo una ganancia en la economía y eficiencia. Sin embargo, existen dudas sobre el motivo de este beneficio en el ámbito deportivo. Por ello, son necesarias más investigaciones sobre las vías de mejora ya comentadas en anteriores estudios, pero con diferentes variables de análisis. En este estudio controlado con placebo investigamos los efectos de la suplementación aguda de BJ en la mejora del rendimiento en pruebas de potencia, fuerza isométrica y velocidad (neuromuscular). Catorce atletas competitivos masculinos (edad: 23,93), bien entrenados y pertenecientes a algún club de atletismo, tomaron 140 ml de BJ o PLA (placebo) 2,5 horas antes en dos días separados en un diseño cruzado equilibrado. Las pruebas realizadas fueron un squat jump y un salto con contramovimiento (CMJ), una fuerza de agarre de mano isométrica y un 60 m y 100 m sprint. No se hallaron diferencias significativas de BJ en SJ ( $p = 0,891$ ;  $d = 0,03$ ), CMJ ( $p = 0,254$ ;  $d = 0,10$ ), fuerza de empuñadura isométrica ( $p = 0,848$ ;  $d = 0,04$ ), sprint de 60 m ( $p = 0,429$ ;  $d = 0,07$ ) y sprint de 100 m ( $p = 0,343$ ;  $d = -0,07$ ). Dosis agudas de 140 ml de BJ no mejoró el rendimiento neuromuscular (saltos, fuerza isométrica con empuñadura, carreras a pie de velocidad máxima) en deportistas de atletismo entrenados.

Palabras clave: jugo de remolacha; atletismo; velocidad; ayuda ergogénica; vasodilatación.

Abstract: Supplementation with beetroot juice (BJ) improves performance in cyclical resistance efforts due to the acute effect of vasodilation, generating more efficiency when it comes to transporting nutrients and oxygen, and allowing a gain in economy and efficiency. However, there are doubts about the reason for this benefit in the sports field. Therefore, more research is needed on the ways of improvement already discussed in previous studies, but with different analysis variables. In this placebo-controlled study we investigated the effects of acute BJ supplementation on improving performance in tests of power, isometric strength, and speed (neuromuscular). Fourteen competitive male athletes (age 23.93), well trained and belonging to an athletic club, took 140 ml of BJ or PLA (placebo) 2.5 hours earlier on two separate days in a balanced crossover design. The tests performed were a squat jump and a counter-movement jump (CMJ), an isometric hand grip force and a 60 m and 100 m sprint. No significant differences were found for BJ in SJ ( $p = 0.891$ ;  $d = 0.03$ ), CMJ ( $p = 0.254$ ;  $d = 0.10$ ), isometric grip force ( $p = 0.848$ ;  $d = 0.04$ ), 60 m sprint ( $p = 0.429$ ;  $d = 0.07$ ) and 100 m sprint ( $p = 0.343$ ;  $d = -0.07$ ). Acute doses of 140 ml of BJ did not improve neuromuscular performance (jumping, isometric grip strength, maximum speed running) in trained athletic athletes.

Key words: beetroot juice; athletics; speed; ergogenic aid; vasodilation.

## **2. Introducción y justificación del tema elegido.**

Las ayudas ergogénicas en el ámbito de deportivo cada vez están adquiriendo un papel más relevante para mejorar el nivel de rendimiento y la recuperación del deportista en contraposición al dopaje. Una de las más empleadas, por su importancia a nivel alimenticio, es la ayuda energética nutricional a través de la suplementación de macronutrientes o micronutrientes. Por este motivo, el tema seleccionado para la investigación aplicada, que se presenta a continuación, es la influencia de la suplementación de remolacha en atletas de velocidad, debido a la relación que presenta esta con la mejora en la vasodilatación del organismo y el aumento del flujo sanguíneo en el músculo. Al mismo tiempo, la suplementación dietética de nitratos a través de jugo de remolacha ha presentado un crecimiento desde 2009 por las numerosas investigaciones que se comenzaron a realizar, siendo hoy en día una de las ayudas ergogénicas más comunes en entrenamientos de duración con una gran relación sobre la salud.

La incidencia de esta suplementación en las actividades físico-deportivas es prácticamente directa, como se puede observar en los diferentes estudios que se presentan en las tablas de 3.2 a 3.6 del marco teórico. Sin embargo, su motivo no se sabe exactamente, es decir, después de todo lo investigado y realizado se ha visto que tiene cierta influencia con el rendimiento deportivo, pero aún queda descubrir cómo es esa mejora y qué características presenta. Debido a lo mencionado anteriormente, me he visto motivado para seleccionar esta temática, la cual contiene unas futuras líneas de investigación muy abiertas e interesantes.

Gracias a este estudio, he podido vivenciar y realizar una investigación aplicada muy completa y detallada, permitiéndome observar e identificar todas las partes, mediciones e instrumentos que se presentan en el siguiente trabajo de fin de grado, correspondiente al ámbito deportivo. El desarrollo de este refleja todo un proceso llevado en dos sesiones largas de intervención en la pista de atletismo de Alcorcón, donde aparecen imágenes y tablas que posibilitan una mejora en la comprensión, así como, una visualización total del procedimiento seguido.

En relación con los aspectos más relevantes del estudio, me gustaría destacar: la claridad de todo el trabajo, generando una estructura lineal que forma el eje del trabajo. El



detalle en los textos/explicaciones de todos los apartados que lo configuran, apareciendo diferentes recursos visuales (imágenes, tablas, gráficos, enumeraciones...) que favorecen su comprensión y seguimiento. Y, de manera más concreta, algunos apartados como: el marco teórico que va de lo más general a lo más específico, permitiendo establecer un orden sobre lo que se ha investigado o visto en los diferentes apartados que lo componen. Los objetivos que se persiguen con la investigación y las hipótesis que lo guían, apareciendo con enumeraciones que “aterrizan” el estudio y describen lo que se quiere descubrir. El método que estructura con los diferentes subapartados la intervención realizada, observándose de manera muy detallada y con un amplio soporte visual. Los resultados obtenidos al realizar el análisis estadístico de los datos recogidos, diferenciándolos en diferentes puntos con sus correspondientes explicaciones y tablas que mejoran su concretización y comprensión como se ha mencionado anteriormente. Y, por último, la discusión final que reflexiona sobre los resultados encontrados en función de los objetivos establecidos, y que presenta una estructura idónea o correcta para albergar todas las cuestiones propias de ese apartado.

En último lugar, quiero destacar que, aunque no se hayan obtenido resultados significativos, el estudio permite seguir completando la investigación de este tema, tan actual, con características propias que, por un lado, lo diferencian de otros estudios, pero por otro, complementan los estudios ya realizados.

### **3. Marco teórico.**

#### **3.1. Historia del atletismo/modalidades del atletismo.**

La palabra atletismo tiene su origen etimológico en dos términos de la lengua griega. El primero *atletes* que se podría definir como “aquella persona que compete en una prueba determinada por un premio” y el segundo, *aethos* que significa esfuerzo. Atendiendo a esta base, el atletismo es uno de los deportes más antiguos del mundo, donde la referencia histórica más próxima con documentación específica es del año 776 a. C. en Grecia en los antiguos Juegos de Olimpia, donde el primer campeón olímpico fue Corebo de Elida en la carrera de stadion o prueba de velocidad. Este competidor al vencer tuvo el orgullo de encender la llama del gran sacrificio al dios Zeus (Baz, 2000).

Por otro lado, se piensa que otros pueblos como los egipcios fueron los primeros en integrar el atletismo como deporte, aproximadamente en la duodécima dinastía. E incluso los celtas en los *Tailtean Games*, disputados en Irlanda en el año 829 a.C., en los que ya realizaban lanzamientos de martillo y saltos de altura. Sin embargo, en ambos eventos la documentación que se tiene es mínima, por lo que, aunque es seguro que practicaron modalidades del atletismo, su constatación no es tan segura o firme (Baz, 2000).

El origen del atletismo nace con la historia de la humanidad, es decir, con el nacimiento del homo sapiens y su bipedestación, debido a que actividades como correr, saltar y lanzar son movimientos básicos del ser humano que no dependen del momento histórico o cultural. Por ello, conocer cuándo se realizó la primera competición entre varias personas resulta muy complejo, debido a que estas habilidades motrices mencionadas anteriormente formaban parte de su supervivencia y producción (Sant, 2005).

El principal desarrollo y crecimiento del atletismo se produce en los siglos XVIII y XIX en Inglaterra, donde había una gran tradición por las pruebas de fondo celebradas en hipódromos, campos de cricket o carreteras. Al mismo tiempo la “milla” que se conoce actualmente adquiere una gran relevancia. Sin embargo, es en las escuelas inglesas y universidades donde el atletismo tiene su mayor aparición. El primero en iniciar las competiciones entre colegios es el pedagogo Thomas Arnold, director del *Rugby College*, quien reglamenta las actividades físicas, con una gran influencia sobre el deporte y el

atletismo. Fundándose en 1850 el *Colegio de Exeter* de la Universidad de Oxford, es decir, la primera asociación atlética en la que se practican carreras y lanzamientos (Baz, 2000).

A raíz de lo anterior, en 1866 se crea, en Inglaterra, la primera federación nacional de atletismo, produciéndose asociaciones y competiciones de atletismo. En Estados Unidos la actividad física era escasa, pero gracias al crecimiento del atletismo en las universidades británicas, mencionado anteriormente, comienza su crecimiento, celebrándose en 1876 el primer Campeonato Nacional USA. Gracias a las excavaciones entre 1875 y 1881 donde se descubre, por arqueólogos alemanes, la antigua Olimpia y al crecimiento que estaba teniendo el deporte en el siglo XIX, se plantea la idea de restaurar los Juegos Olímpicos. Y no es hasta el 6 de abril de 1896 donde el barón Pierre de Coubertin consigue, tras superar diversos obstáculos en su defensa, que se celebre la I Edición de los Juegos Olímpicos de la Era Moderna. En 1928 se instauran competiciones para mujeres. En 1992 se celebran en España (Barcelona) los Juegos Olímpicos, siendo en aquella época los mejores de la historia (Baz, 2000; Benítez y Gamarro, 2010).

En lo referente a los eventos del atletismo actual, se incluyen las reuniones, las reuniones entre clubes, campeonatos nacionales y eventos internacionales. El evento internacional más significativo son los Juegos Olímpicos que se celebran cada cuatro años desde 1896, siendo una de las disciplinas más importantes el atletismo (Benítez y Gamarro, 2010).

Las disciplinas o modalidades del atletismo moderno, según como se dividen en el calendario internacional, son cinco: las carreras, los saltos, los lanzamientos, la marcha atlética y las pruebas combinadas. Cada una cuenta con diferentes prueba oficiales, extraoficiales y tradicionales o populares que no han podido integrarse dentro del reglamento del atletismo moderno (Sant, 2005).

Por otro lado, según Polischuk (2007) las disciplinas deportivas que componen el atletismo son de velocidad-fuerza: saltos y lanzamientos, y de carácter cíclico, carreras de distintas distancias y marcha atlética, pruebas múltiples como pentatlón y disciplinas

que combinan las cíclicas, las de coordinación difícil y las de velocidad-fuerza como, por ejemplo, las carreras de obstáculos y las carreras de vallas.

El atletismo actual no se puede entender como un único deporte, debido a que está compuesto por diferentes especialidades que se han ido agrupando en un solo nombre general a lo largo de la historia. Las diferentes modalidades que componen el atletismo pueden no tener semejanzas, ya que cada una presenta una historia, una técnica, unas formas de entrenamiento y unas características únicas. Es por ello, que su estudio resulta muy complicado estudiarlo en conjunto; cada modalidad tiene su propia historia. (Sant, 2005).

### **3.2. Factores determinantes del rendimiento.**

El rendimiento del atleta de resistencia depende de la integración de muchos factores: genéticos, entrenados, aprendidos e incluso algunos que están fuera del control del deportista y entrenador. Al mismo tiempo, además de lo individual, aparecen otros elementos sociológicos, y llevándolo al ámbito competitivo resulta esencial lograr una integración completa de lo técnico, lo táctico, lo fisiológico y lo psicológico (Smith, 2003).

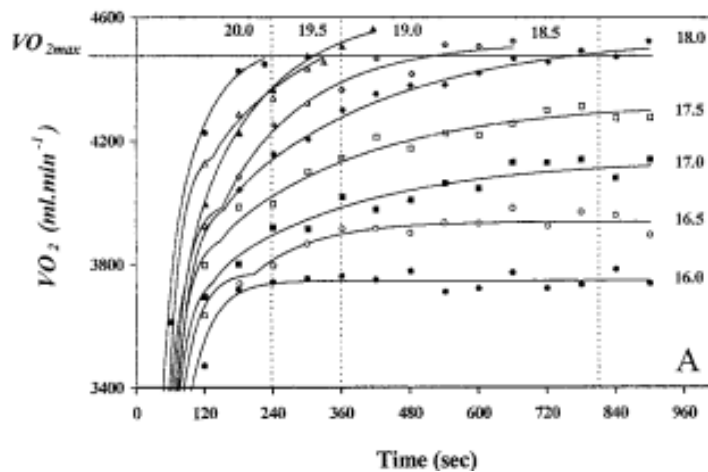
Según la bibliografía, los factores fisiológicos del entrenamiento que determinan el rendimiento en la resistencia de los deportes cíclicos (Brandon, 1995; Hauswirth & Lehénaff, 2001 y Esteve, 2014) son:

#### 3.2.1. Consumo máximo de oxígeno ( $VO_2$ max).

En un esfuerzo continuo, llega un momento que el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) no se incrementa, aunque lo haga la velocidad o potencia. En niveles de resistencia medios o bajos es el factor que mejor define el desarrollo cardiorrespiratorio de una persona, siendo la habilidad de esos sistemas para producir la máxima energía aeróbica por unidad de tiempo. Por ello, se asocia al concepto de potencia aeróbica, mostrándose no por un consumo, sino por la velocidad o potencia asociada al momento que se hace meseta de  $VO_2$ , y se conocen como Velocidad Aeróbica Máxima (VAM) o Potencia Aeróbica Máxima (PAM) (Esteve-Lanao, 2014).

La VAM/PAM es una referencia de entrenamiento, que también condiciona la economía. Señalándose que esta variable a una potencia aeróbica y economía de carrera determinada es una de las mejores variables para predecir el rendimiento en pruebas de resistencia en progresión. Resulta importante destacar que en pruebas de rendimiento puede influir el  $VO_2$  o la economía, por lo que, no solo se debe evaluar la velocidad o potencia pico, sino también el  $VO_{2max}$ . En general, se busca discriminar qué factor de rendimiento es determinante en un corredor concreto.

Gracias a lo mencionado con anterioridad, se puede observar que personas entrenadas entre 3 y 9 minutos contienen un esfuerzo más aeróbico que anaeróbico. Por otro lado, el  $VO_{2max}$  puede establecerse como un abanico de velocidades/potencias que, al prolongarse en el tiempo y a las diferentes velocidades/potencias inferiores a la de una prueba incremental, conducirán el esfuerzo al  $VO_{2max}$  debido al componente lento del  $VO_2$ . Gracias a este componente puede alcanzarse el  $VO_{2max}$  con velocidades inferiores a la VAM, como muestra la figura 3.1.



**Figura 3.1.** Alcance de  $VO_{2max}$  con velocidades inferiores a la VAM (Bernard et al., 2000).

Normalmente se suele usar la expresión relativa respecto al peso corporal ( $ml$  de  $O_2/kg/min$ ), debido a que de esta manera puede compararse a deportistas de distintas antropometrías (Esteve-Lanao, 2014).

Aunque se tenga un bajo nivel de condición física o el número de entrenamiento sean mínimos, este factor se puede mejorar en un adulto entre un 15 y 25%, generando grandes mejoras en la funcionalidad cardiorrespiratoria, como se ha mencionado anteriormente. Por este motivo, suele utilizarse en la población general como el principal indicador en la resistencia cardiorrespiratoria, relacionándolo con el *motor de un coche*. En lo referente al nivel de entrenamiento, los deportistas de élite pueden duplicar y hasta casi cuadruplicar a los de personas sanas con bajo nivel de entrenamiento (75-86 respecto a 20-40 ml/kg/min), siendo todavía mayor la diferencia con personas enfermas (<20ml/kg/min de VO<sub>2</sub>max). Al mismo tiempo, los hombres entrenados muestran niveles superiores a las mujeres entrenadas. Las mejoras de este factor se producen en los primeros años de entrenamiento. La fase más sensible para su intratabilidad es la pubertad. En personas bastantes entrenadas y en actividades de larga duración otros elementos son más importantes, únicamente, podría aparecer una mejoría con metodologías de alta intensidad.

El VO<sub>2</sub>max es un factor determinante en pruebas de corta duración y limitante en las que son de larga duración. El motivo es que en pruebas largas influyen otros factores como la economía o el umbral anaeróbico (UAN), que se explicarán más adelante, y en pruebas cortas, siendo el VO<sub>2</sub>max bajo, este condiciona el umbral. Por último, el desarrollo de este factor favorece la mejoría en esfuerzos breves e intensos, debido a la rápida recuperación de esfuerzos glucolíticos en los deportistas (Esteve-Lanao, 2014).

### 3.2.2. Umbral anaeróbico (índice de resistencia).

Al igual que Esteve-Lanao (2014) se refería al VO<sub>2</sub>max con el símil del *motor de un coche*, este compara el UAN con la *capacidad de mantener el motor trabajando a altas revoluciones durante un largo tiempo sin que exista problema para mantener la velocidad*.

En una prueba progresiva, la sensación de fatiga no es proporcional a la velocidad, sino que existe un momento crítico donde aumentan las dificultades y parece que tenemos los “minutos contados”. A partir de esta zona se limita el tiempo de duración del esfuerzo (Esteve-Lanao, 2014).

El rendimiento a esa intensidad de umbral anaeróbico se representa por el porcentaje de  $VO_2\text{max}$  al que ocurre (Maldonado, 2004), siendo realmente la velocidad de ese parámetro la que puede relacionarse con el rendimiento. Este parámetro será un umbral a determinada intensidad en función de la duración del esfuerzo y de la fatiga previa. Al mismo tiempo, cada músculo que interviene en un movimiento cíclico puede llegar a tener su propio umbral (Beneke et al., 2000).

Por último, destacar que el UAN tiene un ritmo de mejora más dilatado, es decir, cuando el  $VO_2\text{max}$  ya no mejora el UAN sí puede seguir haciéndolo (Péronnet, 2001).

### 3.2.3. Economía o eficiencia energética.

Si el  $VO_2\text{max}$  representa la capacidad de generar mucha energía por unidad de tiempo y el UAN con mantenerse mucho tiempo a una intensidad por debajo de la anterior, la economía se manifiesta como la habilidad para gastar la menor energía posible a una determinada velocidad o carga (Esteve-Lanao, 2014). La eficiencia energética depende, en cada persona, del sustrato energético que use y del porcentaje de fibras lentas en los músculos motores.

La economía no es tan relevante en pruebas cortas, ya que se busca la máxima cantidad de energía en poco tiempo, pero es crucial en deportes de larga duración (al menos 3 minutos), en los que se intenta mantener el máximo tiempo posible una cantidad de energía determinada. En deportistas muy entrenados es el factor de mayor importancia, donde la termorregulación, la fatiga neuromuscular y la cantidad de energía almacenada aparecen como factores limitantes (Esteve-Lanao, 2014).

Los principales factores que influyen en la mejora de la economía son los relacionados con el entrenamiento, el volumen de este y el entrenamiento de fuerza. Al mismo tiempo, debido a estos tres factores, el desarrollo de los factores es distinto, es decir, el  $VO_2\text{max}$  se mejora más rápido, luego el UAN y por último, la economía (Michael J. Joyner & Coyle, 2008).

La velocidad máxima que un atleta llega a mantener depende de la máxima potencia de este y del coste energético de la carrera. Por lo que, los corredores que presenten menor coste energético a una determinada velocidad tendrán una ventaja de cara al rendimiento (Di Prampero et al., 1993).

### 3.2.4. Capacidad y potencia anaeróbicas.

Después del VO<sub>2</sub>max, la manera de aumentar la intensidad se realiza incrementando la producción de energía anaeróbica. Siendo intensidades superiores al VO<sub>2</sub>max. La manera de medir la capacidad y potencia anaeróbica no son el VO<sub>2</sub>max ni la FC, sino es el lactato, ya que es el único referente de control de esta intensidad fisiológica, es decir, sería como el *turbo* en condiciones de fatiga (Esteve-Lanao, 2014).

La capacidad anaeróbica es el promedio de potencia que se puede generar durante un tiempo concreto. Por otro lado, la potencia anaeróbica es la máxima cantidad de potencia que se puede desarrollar a corto plazo. Ambos usando un metabolismo anaeróbico (Vanlandewijck et al., 2001).

En general, es la habilidad de aguantar durante un largo tiempo un esfuerzo de predominio anaeróbico. Al ser esfuerzos de cierta duración y sin pausas, la principal vía energética correspondiente al metabolismo anaeróbico es la glucolítica. Utilizándose en el campo del entrenamiento los términos de capacidad glucolítica, capacidad láctica y tolerancia al lactato (TOLA). Y al mismo tiempo, potencia glucolítica, potencia láctica y máxima producción de lactato (MPLA) (Esteve-Lanao, 2014).

Al no haber umbrales o similares, se establecen porcentajes sobre una marca o sobre la VAM, trabajándose a velocidades o potencias fijas, como se puede observar en la tabla 3.1 (Esteve-Lanao, 2014).

**Tabla 3.1.** Referencias sobre porcentajes y cargas de zonas anaeróbicas.

	INTENSIDAD (% de la marca en distancia)	INTENSIDAD (% VAM)	DURACIÓN DE CADA REPETICIÓN	DURACIÓN PAUSAS EN CADA REPETICIÓN	DURACIÓN DE LA RECUPERACIÓN ENTRE BLOQUES
Potencia aláctica	100-98%	-	0-6''	2-5'	>5' a 15'
Capacidad aláctica	97-95%	-	6-15''	2-5'	>5' a 15'
Potencia láctica	95-91%	120-130%	30-90''	2-5'	>5'
Capacidad láctica	86-81%	105-115%	30-50'' a 2-4'	1-3'	>5'

**VAM:** Velocidad Aeróbica Máxima.

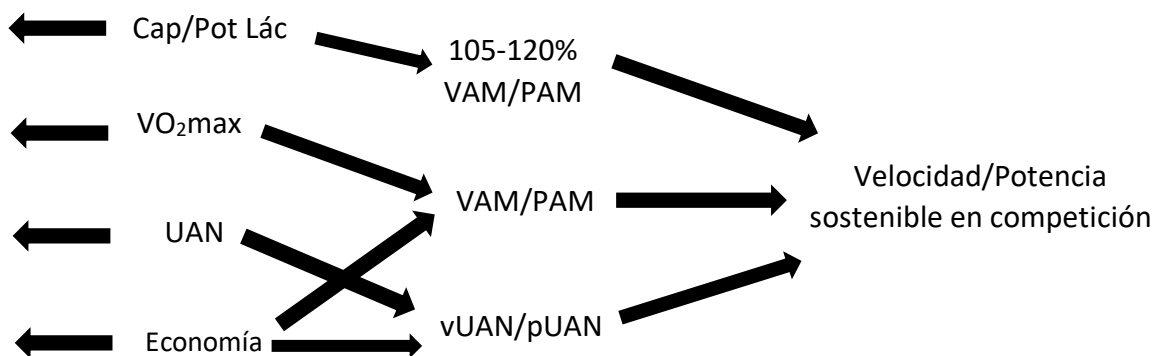


A diferencia de los deportes acíclicos, donde este factor solo se entrena para esfuerzos de entre 15 y 45 segundos con pausas breves, los deportes de resistencia producen una contribución anaeróbica glucolítica en esfuerzos continuos, en la que aumenta el ritmo durante varios minutos a intensidades por encima de la VAM. Reflejándose la capacidad láctica para esfuerzos de más de 1 min y menos de 6 min, y la potencia láctica para menos de 2 min (Esteve-Lanao, 2014).

La buena capacidad anaeróbica en pruebas desde 800 metros hasta 3000 metros puede llegar a reducir el nivel de otros factores de rendimiento. Sin embargo, a medida que aumentan los metros, empiezan a adquirir, mayor importancia en el rendimiento otros factores como el  $VO_2\text{max}$  o el UAN (Brandon, 1995).

Los cuatro factores que determinan el rendimiento ( $VO_2\text{max}$ , UAN, economía y capacidad/potencia anaeróbica) actúan en combinación, dando lugar a una velocidad determinada que se mantiene durante un tiempo concreto. La intensidad de la competición dependerá de las respectivas velocidades e incluso de la velocidad en la que se alcance el primer umbral fisiológico, dependiendo de su duración. Al mismo tiempo, si el esfuerzo no es continuo o la disciplina es otra, por ejemplo triatlón, habrá que separar los diversos umbrales por segmentos y modificar la estrategia de competición (Esteve-Lanao, 2014).

Por último, aparte de los diversos perfiles fisiológicos de los deportistas, resulta esencial conocer si los niveles excepcionales para más de un factor son exclusivos o se pueden mejorar sin necesidad de llegar a un mínimo (M. J. Joyner, 1991).



**Cap / Pot Lác:** Capacidad y Potencia láctica, **UAN:** Umbral anaeróbico, **VAM:** Velocidad aeróbica máxima. **PAM:** Potencia aeróbica máxima, **VO<sub>2</sub>max:** Consumo de oxígeno máximo.

**Figura 3.2.** Interacción de los factores determinantes del rendimiento en resistencia (Esteve-Lanao, 2010).

---

### 3.3. Ayudas ergogénicas.

La palabra ergogénico viene de dos palabras de origen griego; *ergos* que significa orientado al trabajo y *genésis* que es creación. Por lo que, ayuda ergogénica es toda sustancia, técnica, método, material o equipamiento legales dirigido a la producción de trabajo y que se utilizan para mejorar el nivel del rendimiento y la recuperación del deportista en contraposición al dopaje. Este último consiste en el uso de técnicas, métodos o sustancias ilegales que presentan por finalidad el aumento o disminución artificial del rendimiento durante los entrenamientos y/o competición, influyendo de manera negativa en la moralidad e integridad psico-física del deportista (Figueroa y Naclerio, 2014).

El dopaje presenta un carácter ergogénico, pero no todas las ayudas de este tipo son vistas como dopantes. Hay que tener en cuenta que el uso de ayudas ergogénicas pueden llegar a producir, en algunos casos, efectos inversos de carácter ergolítico, es decir, relacionados con la disminución del rendimiento y la demora en el aspecto recuperativo en relación a su aporte (Figueroa y Naclerio, 2014).



**Figura 3.3.** Pilares del Rendimiento Deportivo (Figueroa y Naclerio, 2014).

## **Clasificación de ayudas ergogénicas.**

Atendiendo a su naturaleza, se pueden distinguir cinco tipos de ayudas ergogénicas (Williams, 1998):

1. Mecánicas: material deportivo, complementos o técnicas relacionadas con las propiedades físicas de los materiales e incluso del propio cuerpo humano. Algunos ejemplos son: zapatillas ergonómicas, trajes para nadar con menor resistencia al agua, tiritas nasales, etc.

2. Farmacológicas: diferentes sustancias químicas que se introducen en el organismo para aumentar el rendimiento orgánico y/o recuperación. Su empleo, en la mayoría de los casos, está prohibido por ser sustancias dopantes. Algunos ejemplos son: hormonas, esteroides anabolizantes, eritropoyetina, etc.

3. Psicológicas: técnicas y estrategias de carácter psicológico que favorecen el rendimiento. Algunos ejemplos son: técnicas de relajación, hipnosis, control de ansiedad, etc.

4. Fisiológicas: técnicas “físicas” o sustancias naturales que mejoran el rendimiento y/o recuperación del organismo. Algunos ejemplos son: entrenar en altura, bicarbonato, glicerol, etc.

5. Nutricionales: cualquier complemento alimenticio, alimenticio dietético o nutracéutico que ayude a la mejora del rendimiento y/o recuperación, siendo su ingesta pre, intra o postesfuerzo. Algunos ejemplos son: suplementación con hidratos de carbono (CHO), ácidos grasos, vitaminas, etc. Se ha hecho muy común utilizar en la sociedad actual el término de suplemento nutricional como sinónimo de ayuda ergogénica de carácter nutricional, tema que se desglosará con mayor profundidad en los siguientes apartados.

Antes de su consumo o uso, el empleo de ayudas ergogénicas debe basarse en dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿es segura?, ¿es legal?, ¿es efectiva? y ¿es necesaria? Sin olvidar la posición que ocupan dentro de la “pirámide del rendimiento deportivo” (figura 3.3.), situándose por encima del entrenamiento y de la dieta, por lo

que, el uso de agentes ergogénicos debe complementar o reforzar y nunca sustituir (Figuroa y Naclerio, 2014).

Por último, las variables que pueden influir en los resultados y determinar el efecto esperado tras el consumo de una ayuda ergogénica son: la dosis del producto empleada, la población o los sujetos de estudio, el tiempo de consumo o utilidad (corto o largo plazo) y el tipo de deporte (Figuroa y Naclerio, 2014).

### 3.3.1. Ayudas ergogénicas nutricionales.

Según el Real Decreto 1275/2003, de 10 de octubre, relativo a los complementos alimenticios, entiende los complementos alimenticios como:

Productos alimenticios cuyo fin sea complementar la dieta normal y consistentes en fuentes concentradas de nutrientes o de otras sustancias que tengan un efecto nutricional o fisiológico, en forma simple o combinada, comercializados de forma que permitan una dosificación determinada del producto y que deben tomarse en pequeñas cantidades unitarias. (p. 36780)

La normativa indica que existen diferentes tipos de nutrientes y alimentos que pueden estar presentes en los complementos nutricionales, como son: vitaminas, minerales, aminoácidos, ácidos grasos, etc. Haciendo especial énfasis a las vitaminas y a los minerales como se puede observar en los anexos del decreto (Pinto Fontanillo y Fernández Aguado, 2005).

Los suplementos nutricionales, desde el punto de vista científico, se han diferenciado según sus propiedades, efectos funcionales y margen de seguridad. Por ello, resulta imprescindible diferenciar todos los nutrientes, indicando sus alcances y aplicaciones (Figuroa y Naclerio, 2014).

El término nutracéutico, mencionado anteriormente, viene referido a alimentos o parte de estos que ofrecen beneficios para la salud o para la prevención de enfermedades. Los nutracéuticos abarcan nutrientes aislados (vitaminas), suplementos naturales, alimentos enriquecidos, productos de herbolario, comidas procesadas (creales o sopas) y bebidas energéticas o deportivas. Dependiendo de cómo y dónde se aplique o de los objetivos de la alimentación, se pueden clasificar siguiendo tres principios: fuente de procedencia (animal, vegetal o microbiana), estructura química (terpenoideos,

sustancias fenólicas, derivados de los hidratos de carbono, etc.) o mecanismo de acción (antioxidantes, antiinflamatorios, etc.) (Wildman & Kelley, 2007).

### **3.4. Ayudas ergogénicas nutricionales – suplementos dietéticos.**

#### 3.4.1. Suplementos dietéticos.

Los suplementos dietéticos son consideradas toda sustancia que puede hallarse como mineral, vitamina, aminoácido, hierba o concentrado de macronutriente (proteínas, CHO y grasas) con diferentes proporciones, y que puede aplicarse para complementar o reforzar la dieta habitual (Williams, 1998).

Atendiendo a la función, cantidad y tipo de nutrientes aportados, los suplementos dietéticos se pueden clasificar en cuatro grupos (Figuroa y Naclerio, 2014):

1. **Funcionales:** son sustancias que presentan efectos positivos en la salud y cuyo uso se recomienda para compensar las posibles deficiencias de la dieta habitual. Dentro de este grupo se encuentran: vitaminas, minerales y otros nutrientes como los ácidos grasos esenciales, los polifenoles y los isoflavonoides.
2. **Organizadores de la dieta:** son preparados con diferentes concentraciones de macronutrientes (proteínas, CHO y grasas) y micronutrientes (vitaminas, minerales y oligoelementos) que mejoran la calidad de la nutrición. Se pueden dividir en dos categorías: mayor proporción de CHO o mayor proporción de proteínas.
3. **Estimulantes:** son sustancias que modifican la respuesta neuroendocrina y metabólica, teniendo un punto de vista mayoritariamente médico.
4. **Optimizadores del rendimiento y la recuperación:** son productos que ayudan a la disponibilidad de energía y a los procesos de recuperación. En este grupo aparecen: la carnitina, los aminoácidos, la creatina y otros productos, por ejemplo, la glucosamina, que presentan efectos positivos sobre las estructuras articulares.

### 3.4.2. Macronutrientes.

#### *3.4.2.1. Hidratos de carbono (CHO).*

La función principal de los CHO es energética, siendo el combustible principal en ejercicios intensos. Este se almacena en glucógeno muscular o en glucógeno hepático y en función de la intensidad y la duración del esfuerzo su utilización variará. La energía al inicio de esfuerzos de alta intensidad proviene del glucógeno muscular, mientras que el glucógeno hepático, mantiene la homeostasis de la glucemia sanguínea. Al vaciarse los depósitos de glucógeno en ejercicios intensos de más de dos horas, la glucosa sanguínea se vuelve el sustrato principal de los CHO, por ello, al incorporar ayudas ergogénicas nutricionales basadas en este macronutriente se podrán evitar casos de hipoglucemia o un retraso en la aparición de la fatiga (Cardona et al., 2019).

La maltodextrina es el CHO que, normalmente, se usa en los alimentos. Esta deriva del trigo, presenta altas concentraciones de maltosa y contiene un índice glicémico relativamente alto, convirtiéndolo en un alimento oportuno para consumirlo en las horas postentreno, gracias a su regeneración de glucógeno. Sin embargo, el abuso de mezclas con un alto porcentaje de carbohidratos disminuye la actividad de las enzimas digestivas a nivel intestinal (Burke, 2001).

La ayuda ergogénica nutricional basada en CHO ya sea antes, durante o después del entrenamiento, mejora la potencia y resistencia aeróbica, al mismo tiempo, tiene un efecto positivo en la resistencia anaeróbica muy intensa, prolongada e intermitente. Al disminuir el glucógeno muscular, la obtención de energía se realiza mayoritariamente a través de las grasas. Cuando el agotamiento afecta al glucógeno hepático disminuye la glucemia, quedando el cerebro sin la suficiente energía para realizar el metabolismo correcto de los aminoácidos, produciendo un aumento del neurotransmisor serotonina (5-HT) que conlleva la aparición de fatiga. Por lo que, la principal acción de ayuda ergogénica de este macronutriente es la capacidad de llenar los depósitos de glucógeno hepático y muscular, manteniendo la glucemia en un rango normal (Figuerola y Naclerio, 2014).

Los preparados con CHO presentan colorantes artificiales (vistoso y agradable), grasas hidrogenadas (mejor sensación) y siropes de trigo y sales (mejor sabor). Al mismo

tiempo, gracias a la sucralosa por ejemplo, pueden estar endulzados por edulcorantes naturales y artificiales. Este edulcorante es más dulce que el azúcar y presenta unas propiedades que lo hacen seguro y eficaz (Szepesi, 1997).

Los alimentos ricos en CHO presentan un contenido de entre 45% y 85% del total de nutrientes. Después del ejercicio, el aportar 1,5 gramos de CHO por kilogramo produce una mayor resíntesis de glucógeno, debido a que, en los primeros treinta minutos, el transporte muscular de glucosa es muy sensible a la insulina (Figuroa y Naclerio, 2014).

Las formulaciones de CHO presentan efectos distintos sobre la generación de insulina, viéndose que con fuctosa disminuye la resíntesis de glucógeno en comparación con otras formas. Retrasar dos horas la reposición de CHO después del esfuerzo implica una pérdida del 50% aproximadamente en la capacidad de resíntesis. Un deportista con un agotamiento de glucógeno recupera los depósitos con una ingesta de 0.6 – 1.0 gramos de CHO por kilogramo y por hora, durante los primeros treinta minutos, repitiendo este proceso a intervalos de dos horas durante cuatro/seis horas. Por lo que, la máxima recuperación de glucogéno tanto hepático como muscular se consigue consumiendo 1.2 gr HC/kg/h en intervalos de 15 – 20 minutos durante 4 – 6 horas posteriores al entrenamiento y/o competición. Haciendo el cálculo, los depósitos de glucógeno vuelven a la normalidad en 24 horas gracias a la ingestión de 8-9 gr HC/kg/día (Figuroa y Naclerio, 2014).

Dentro de las ayudas ergogénicas nutricionales de CHO se encuentran: barras, geles, bebidas y alimentos líquidos para deportistas. Cada una se usará en función del entrenamiento y/o competición y del momento de este, ajustándose la cantidad y el tipo a las diferentes circunstancias (L. M. Burke, 2013).

#### *3.4.2.2. Proteínas.*

A partir de la leche, el huevo, el calostro de bovino, la soja y en ocasiones el trigo, se obtienen y producen la mayor parte de los productos proteicos. Gracias a estos, se consiguen preparados con porcentajes de proteínas que, en función del proceso de elaboración, variará su calidad (Etzel, 2004; Hoffman & Falvo, 2004).

Dentro de las ayudas ergogénicas nutricionales con influencia proteica se encuentran:

- Proteínas de suero lácteo o *whey*: es un líquido translúcido que se origina en el proceso de fabricación de los quesos. Son ricas en aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, representando el 20-25% de las proteínas de la leche. Se recomienda que los concentrados de esta proteína sean acentuados con fenilalanina, péptidos de glutamina, arginina y taurina, ya que favorecen el desarrollo de funciones que guardan relación con la actividad neural, la síntesis de sustratos y las proteínas musculares. En función de cómo se presenten los preparados proteicos (polvo de proteínas, proteínas concentradas o proteínas aisladas) los porcentajes de proteínas, lactosa y grasa láctea será distinta (Figuerola y Naclerio, 2014).

- Proteínas de caseína: la caseína otorga el color blanco de la leche y constituye entre un 75% y un 80% de las proteínas de la misma. Al encontrarse en bolos o micelas que ralentizan su velocidad de absorción, se produce un paso a sangre más sostenido y constante que se relaciona con una retención de nitrógeno más eficiente, siendo capaz de crear, en comparación con la ingesta de suero lácteo, una respuesta anabólica mayor (Kevin D. Tipton & Wolfe, 2004)

- Proteína de calostro de bovino: es un fluido muy denso que se secreta antes de la leche materna en los días posteriores al parto, resultando fundamental para el crecimiento y desarrollo del recién nacido. Alberga factores de crecimiento que favorecen el desarrollo celular y la síntesis de ADN, por ello, se piensa que puede tener efectos positivos como suplemento nutricional en relación a favorecer la recuperación y desarrollo muscular (Hoffman & Falvo, 2004).

- Proteínas de soja: aunque son de origen vegetal, gracias a los preparados de esta de gran calidad, presentan un valor de digestibilidad de aminoácidos similar al conseguido por fuentes de origen animal (Hoffman & Falvo, 2004). Debido a su análisis se sabe que son completas y que presentan elevadas cantidades de aminoácidos ramificados (glutamina y arginina), pero poca metionina (Figuerola y Naclerio, 2014).

- Aminoácidos ramificados: los aminoácidos esenciales, como la valina, la leucina y la isoleucina, se diferencian del resto porque tienen una cadena de carbonos o ramificación que se desvía de la cadena principal del aminoácido. Su suplementación mejora la velocidad de recuperación e incentiva la síntesis de proteínas musculares si se



toman dosis superiores de 50 mg/kg/día. Al mismo tiempo, los efectos son más beneficiosos si se realizan después del entreno y junto a CHO (Figuroa y Naclerio, 2014).

El efecto de una ayuda ergogénica nutricional de proteínas es, gracias al aumento de la concentración de los aminoácidos, un estímulo relevante para la síntesis de proteínas musculares, ayudando a los procesos de recuperación y desarrollo muscular tras una sesión de esfuerzo (Kevin D. Tipton & Wolfe, 2004). Para conseguir un estímulo mínimo en la síntesis de proteínas musculares se deben ingerir 10 gr de proteínas con una presencia de 3-4 gr de aminoácidos esenciales. Por otro lado, es importante conocer que, aparte de lo mencionado anteriormente sobre la síntesis de proteínas musculares, hay otros aspectos que intervienen en el grado de anabolismo: el aporte calórico para mantener un balance energético positivo, la ingesta conjunta con CHO y el momento de la ingesta (Figuroa y Naclerio, 2014).

El consumo conjunto de los dos macronutrientes como suplemento nutricional después del ejercicio favorece la recuperación de los depósitos de glucógeno y reduce el daño muscular, siendo incluso más efectiva con la presencia de lípidos por inducir una respuesta más rápida en la secreción de insulina. Si dentro de las proteínas se añaden la suplementación con aminoácidos esenciales la recuperación de glucógeno y proteínas será mayor. Por ello, se piensa que, aproximadamente, tiene que establecerse una combinación de CHO y proteínas que sigan una proporción 3:1 o 4:1 en los primeros treinta minutos posteriores al ejercicio, es decir, de 1.2 a 1.5 gr/kg de HC simples junto a 0.3-0.5 gr/kg de PROT, aportando entre 50-100 mg/kg de aminoácidos esenciales (Figuroa y Naclerio, 2014).

#### *3.4.2.3. Grasas.*

- Aceites de germen de trigo: se extrae de la semilla de trigo, siendo rico en omega 6, vitamina E y octacosanol. Se le han atribuido efectos sobre el  $VO_2$ max y la recuperación del glucógeno muscular, sin embargo, en las investigaciones científicas no se han comprobado estas aportaciones como suplemento dietético (Figuroa y Naclerio, 2014).

- Triglicéridos de cadena media (MCT): lípidos de ácidos grasos de cadena corta y media que se encuentran en los productos lácteos. Estos son asimilados rápidamente sin necesidad de utilizar un sistema de transporte distinto, por lo que, su tasa de eliminación

no está limitada por su disponibilidad y velocidad. Los que contienen entre 6 a 8 átomos se asimilan y se metabolizan con mayor velocidad, otorgando energía (Tsuji et al., 2001).

Los MCT se han utilizado para ahorrar glucógeno o mantener las reservas de hidratos de carbono en esfuerzos de alta intensidad cuando sus depósitos son escasos. Todas las investigaciones realizadas han ido orientadas a observar la influencia de este o en combinación con otro macronutriente en el rendimiento (Figuroa y Naclerio, 2014).

Su ingesta se debe producir de 10 a 20 minutos antes de comenzar el ejercicio, con una suplementación de menos de 25 gr de MCT (1 gr de MCT es igual a 8.3 kcal) y acompañado de una bebida deportiva con un 6%-8% de carbohidratos (Figuroa y Naclerio, 2014).

- Omega 3: se trata de un ácido graso esencial que se metaboliza en el organismo en dos ácidos: eicosapentanoico (EPA) y docosahexanoico (DHA). Su suplementación dietética se ha relacionado con la síntesis y secreción de hormonas, la absorción de nutrientes, la disminución de catabolismo muscular, la mejora en el flujo sanguíneo y la distribución del oxígeno (capilares-célula) (Fontani et al., 2005).

Los efectos positivos de ambos ácidos se generan porque son directamente metabolizados e integrados en el organismo a través de la membrana celular, permitiendo mantener la eficiencia en la transmisión de los estímulos y la absorción completa de nutrientes a través de la membrana (Lenn et al., 2002).

Las dosis diarias recomendadas de omega 3 son de 1.2 gr a 6 gr, pudiendo sufrir alguna variación en función del producto. No se debe superar esta ingesta, debido a que puede conllevar problemas de incontinencia o diarreas. Al mismo tiempo, se aconseja integrar pequeñas cantidades de ácido de gama linoleico (GLA) y ácido linoleico conjugado (CLA) (Figuroa y Naclerio, 2014).

- Ácido linoleico conjugado (ACL): son isómeros posicionales y geométricos de ácido linoléico cuyas dobles ligaduras están conjugadas. Tienen origen animal y se encuentran en las carnes de los rumiantes, las aves de corral, los huevos y la leche y derivados. Los isómeros cis 9 y trans 11 CLA son los más presentes en la dieta, componiendo el 90% de la ingesta de CLA (Campbell & Kreider, 2008).

El ALC, aparte de tener efectos positivos en el tratamiento de cardiopatías o cánceres de próstata o mama, mejora el rendimiento y reduce la grasa corporal gracias a su capacidad para mejorar la sensibilidad insulínica de las células musculares. Estos estudios, sobre la suplementación de este producto, se han realizado en diferentes deportistas, donde dependiendo de los sujetos, de la dosis y del tratamiento los resultados fueron distintos. Concluyendo que para reducir el catabolismo muscular y mejorar la capacidad de tolerar altas cargas de entrenamiento es necesaria una dosis de 6 gr de ALC, donde más de 3 gr sean aminoácidos esenciales (Kreider et al., 2002).

Aunque se han realizado diferentes investigaciones, todavía no hay evidencias o resultados concluyentes sobre los beneficios de esta suplementación. Por lo que, es un tema que aún tiene una línea de estudio amplia (Figuroa y Naclerio, 2014).

Al no presentar efectos secundarios, se recomienda una dosis de entre 1 o 2 gramos diarios mínimo y 6 gramos diarios máximo, tomándose antes del desayuno, en la comida y en la cena (Figuroa y Naclerio, 2014).

- Glicerol: está compuesto por un alcohol con tres carbonos, presenta una baja capacidad glucogénica lo que permite ofrecer glucosa y conservar los niveles de glucemia (Sherman & Leenders, 1995).

El glicerol se comporta como un agente osmótico atrayendo y manteniendo el agua en los tejidos, donde conserva la hidratación y el volumen celular. Al ingerirse por vía oral, el glicerol se absorbe rápidamente, generando, gracias al incremento de la osmolaridad sanguínea que permite la reabsorción de fluidos a nivel renal, una reducción de los niveles de orina y un incremento en la retención de líquidos en el organismo (Wagner, 1995).

Al ingerir un líquido con una suplementación en glicerol, la concentración de los fluidos corporales se mantendrá constante hasta que no se excrete el glicerol extra por vía renal u otras. Por ello, la ingesta de este debe realizarse entre dos horas y dos horas y media antes de un ejercicio de resistencia que presente una duración de dos horas aproximadamente. De esta forma, se conseguirán los efectos positivos del glicerol como producto hidratante (Wagner, 1995; Robergs, 1998).

Aunque se han realizado diferentes investigaciones científicas sobre los beneficios del glicerol, conllevando metodologías y resultados diferentes, la mayoría de estos están de acuerdo en que el glicerol mejora la retención de agua en la célula y en el espacio vascular siendo beneficioso en determinadas circunstancias relacionadas con el rendimiento (ambientes calurosos y húmedos, etc.). Por lo que, preserva la temperatura corporal y minimiza el impacto sobre el sistema cardiovascular (L. Burke et al., 2006).

Las dosis más recomendadas son de 1 gr a 1.5 gr con 25ml-30ml de agua o bebida hidratante por kg de peso corporal (Scheett et al., 2001). En general, este suplemento suele ser bien tolerado por el organismo, sin presentar cambios en los niveles de sodio, potasio, hemoglobina y hematocrito (Wagner, 1995). Este puede ser consumido por soluciones de glicerina o bebidas especiales que contienen glicerol en cantidades normales (L. Burke et al., 2006). En relación al tiempo de ingesta, este dependerá de la actividad, pero se recomienda que se realice entre 1.5 horas y 2 horas antes de un ejercicio de más de 2 horas. Si la duración es mayor, una solución de un 5% de este facilitada con una tasa de 400 ml a 800 ml por hora será muy provechoso (Robergs, 1998).

#### 3.4.3. Micronutrientes.

- Hierro: sus funciones principales se centran en la producción de energía y en el funcionamiento correcto de la hemoglobina y mioglobina, siendo un micronutriente esencial por estas dos cuestiones. El tipo de hierro ingerido y los niveles de diferentes promotores, por ejemplo, vitamina C, intervienen en la absorción de este en la dieta. Diferentes cuestiones, como un déficit de hierro o una alta intensidad de entrenamiento, hacen que la suplementación de hierro sea muy necesaria, sobre todo en mujeres deportistas (Alaunyte et al., 2015).

- Calcio: es el mineral más abundante en nuestro cuerpo. Este realiza desde funciones estructurales (huesos) hasta funciones reguladoras (coagulación sanguínea). Su incorporación a la dieta se realiza principalmente desde la leche y sus derivados, sin embargo, los niveles de este en la población española son bajos, sobre todo en mujeres por las diferentes situaciones fisiológicas. Aunque la mayoría de los estudios están relacionados con la posible prevención o ayuda del calcio a ciertas enfermedades

(cáncer, osteoporosis, etc.), este también tiene una influencia con el peso corporal debido a su regulación en la adiposidad corporal (Martínez de Victoria, 2016).

- Vitamina D: la obtención de vitamina D se ha investigado que no tiene una correlación directa con la dieta, debido a que su principal fuente de adquisición son los rayos ultravioletas del sol. Por lo que, su suplementación no presenta ningún beneficio. Sin embargo, en deportistas que presenten un déficit de esta vitamina o que tengan una escasa exposición al sol se recomienda su suplementación, debido a que su escasez, en relación a los niveles normales, puede producir malestares o sensaciones de debilidad (Owens et al., 2018).

- Óxido nítrico (ON): es una molécula gaseosa formada por un átomo de oxígeno y otro de nitrógeno que se forma a través de la enzima sintetasa del óxido nítrico y el aminoácido arginina. Este se puede generar al incrementar la circulación sanguínea por el ejercicio, o bien como en las células nerviosas como neurotransmisor (Figueroa y Naclerio, 2014).

El ON actúa en el organismo humano como un potente vasodilatador, sin embargo, sus efectos van a depender de las concentraciones suministradas, siendo positivo en concentraciones bajas, donde genera una vasodilatación de los vasos sanguíneos y mejora la circulación del oxígeno, pero en concentraciones altas, ocurre lo contrario, pudiendo llegar a producir la muerte celular (Achike & Kwan, 2003).

Diversos estudios realizados en estos años, han demostrado que ciertos nutrientes, como los taninos de las legumbres o los polifenoles de algunos vegetales, potencian la síntesis de ON en el organismo, mejorando la circulación y el grado de vasodilatación y nutrición en los tejidos (Achike & Kwan, 2003).

Aunque al igual que la vitamina D se está utilizando más para un campo médico, es decir, para tratar enfermedades cardiovasculares, trastornos de diversa índole, diabetes, etc. El ON es empleado, junto con otras sustancias como la creatina o la glutamina, para mejorar la regeneración y el volumen muscular, debido a que el ON, por un lado, aumenta la captación de glucosa por el miocito y, por otro, reduce la extracción muscular de oxígeno por reducción de la demanda energética y de su consumo (Figueroa y Naclerio, 2014).

En este ámbito de rendimiento, la manera de su ingesta es a través de diferentes formas de la arginina, donde se piensa que esta debe ser aproximadamente de entre 3 gr y 6 gr por día divididas en dos tomas que se deben realizar antes de las comidas principales (comida y cena) o de los entrenamientos (Figuroa y Naclerio, 2014).

### **3.5. Estudios de investigación entre el efecto de los nitratos del zumo de remolacha y el deporte.**

El interés actual por el jugo de remolacha aparece gracias a las investigaciones realizadas por el profesor Andy Jones en la Universidad de Exeter (Reino Unido), debido a que utilizó este suplemento dietético para hacer que el keniano Eliud Kipchoge se quedase a tan solo veintiséis segundos de correr una maratón en menos de dos horas. Andy aplicaba dosis de zumo de remolacha de medio litro diarias con la intención de que el rendimiento fuese superior.

El nitrato del zumo de remolacha ha sido utilizado principalmente en el campo médico (Figuroa y Naclerio, 2014), pero, a raíz de lo comentado anteriormente, se empezaron a realizar diferentes investigaciones para conocer la influencia de este en el entrenamiento, donde se han mostrado ciertos beneficios en diferentes aspectos: la fatiga de ejercicios de alta intensidad, la recuperación de reservas de fosfocreatina y la liberación y recaptación de calcio (Domínguez et al., 2018).

La suplementación con zumo de remolacha mejora el rendimiento en esfuerzos de resistencia cíclica por el efecto agudo de la vasodilatación que hace que exista un menor coste energético durante cargas de trabajo submáximas (Domínguez et al., 2018; López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020; López-Samanes, Pérez-López, et al., 2020).

En relación a esfuerzos intermitentes, la mayoría de las investigaciones científicas no han hallado resultados significativos sobre su influencia en el rendimiento de este tipo de acciones, es decir, no se ha notado ninguna mejoría al ingerir el suplemento nutricional en comparación con otros productos, y en el caso de obtenerse algún efecto positivo, se desconocen bien los mecanismos de mejora en humanos (López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020; López-Samanes, Pérez-López, et al., 2020; Reynolds et al.,

2020). Sin embargo, Thompson et al. (2018) sí halló evidencias científicas a favor de la ingesta de este suplemento.

En relación al estudio de Thompson et al. (2018) realizaron una intervención donde quisieron comprobar los efectos de cuatro semanas de SIT (sprint Interval training) en bici con y sin dieta de nitrato inorgánico, administrando este para que fuese zumo rico en nitratos de remolacha ( $\text{NO}_3$ ) o en nitratos de potasio ( $\text{KNO}_3$ ). Para ello, dividieron una muestra de treinta sujetos no muy entrenados en tres grupos: a. Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) b. Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) c. Control. El protocolo de administración se realizó en 14 sesiones con una toma dos horas y media antes del ejercicio con 70 ml de suplementación. Se halló que los sujetos con una suplementación dietética rica en  $\text{NO}_3$  presentaban un mayor tiempo de trabajo y consumo de oxígeno pico ( $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) durante un test incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, así como un mayor tiempo hasta el agotamiento en esfuerzos de alta intensidad. También hallaron valores inferiores de lactato en sangre después del esfuerzo, menor presión arterial en reposo y un coste de oxígeno menor. Por otro lado, esta investigación permitió observar que el zumo de remolacha rico en nitratos, aplicado como suplemento, tiene efectos beneficiosos en entrenamientos de intervalos de bajo volumen y alta intensidad en comparación con otras ayudas ergogénicas nutricionales. Al mismo tiempo, este estudio al analizar gran cantidad de variables, como se puede observar en la tabla 3.3, adquirió una gran objetividad y valor.

Por otro lado y como hemos mencionado, hay varios autores que no hallaron diferencias en la ingesta de zumo de remolacha. López-Samanes, Gómez Parra, et al. (2020) y López-Samanes, Pérez-López, et al. (2020) realizaron un estudio sobre la influencia del suplemento dietético de zumo de remolacha en jugadores de baloncesto con experiencia y en deportistas profesionales (tenistas). En ambos, los sujetos realizaron: pruebas de saltos (CMJ), circuitos de agilidad, entrenamientos de fuerza isométrica y acciones propias del deporte, partido y saques (SVT) respectivamente. Aunque las concentraciones de remolacha y placebo fueron aplicadas tres horas antes en los dos, las dosis fueron distintas, 140 ml en baloncesto y 70 ml en tenis. Sin embargo, los resultados fueron los mismos, es decir, en ninguno de los dos estudios se hallaron

mejoras significativas ni en el rendimiento neuomuscular con los diferentes ejercicios ni en las actividades propias del deporte con la ingesta de jugo de remolacha.

De igual forma, Reynolds et al. (2020) no hallaron evidencias científicas sobre los beneficios de la ingesta de zumo de remolacha en esfuerzos de sprint. Al realizar diferentes pruebas de velocidad a distintas intensidades se genera un grado de fatiga determinado, por lo que, resulta interesante conocer como influye este al aplicar un suplemento dietético nutricional rico en remolacha en comparación con otro producto (placebo). Por ello, se investigó la ingestión de este (dosis 70 ml) en una prueba RSP (rendimiento de sprint repetido) en deportistas de equipo con pruebas de carrera máxima de 40 metros MST (carreras de ida y vuelta). Se analizaron diferentes variables, pero principalmente se puso el foco en las concentraciones plasmáticas de nitratos y en el lactato en sangre, sin embargo, al realizar el test y observar los resultados, las concentraciones de nitrato plasmático se incrementaron seis veces con el suplemento nutricional rico en remolacha, pero no hubo una diferencia significativa en ninguno de los parámetros: ni en los tiempos, ni en los ensayos de BR (jugo de remolacha) y PLA (placebo) y ni en la concentración de lactato sanguíneo (Reynolds et al., 2020).

Aunque se ha visto que la mayor influencia del suplemento nutricional rico en remolacha lo tiene en pruebas de velocidad con intensidades altas, aún no se ha dado con la “tecla” para conocer el motivo concreto de esa mejora. Se cree que la problemática puede llegar a estar en la concentración y aplicación de ambas dosis, es decir, tanto del jugo de remolacha como del placebo. Aunque sí que se ha podido afirmar que esta suplementación de nitrato tiene una mejora mayor en pruebas intermitentes con larga duración, es decir, la capacidad de ejercicio aumenta más en pruebas de entre diez y veinte minutos que en pruebas de menos de un minuto (Reynolds et al., 2020; Thompson et al., 2018).

Las tablas 3.2 a 3.6 reflejan de manera esquemática los principales estudios realizados sobre los efectos de la suplementación a través del zumo de remolacha que se han ido comentando a lo largo de este apartado.



Tabla 3.2. Resumen de estudios sobre la influencia de la suplementación en el rendimiento deportivo.

REFERENCIA	TÍTULO	PARTICIPANTES (Nº)	OBJETIVOS Y VARIABLES ANALIZADAS	PROTOCOLO	RESULTADOS
Reynolds et al 2020	"Acute ingestion of beetroot juice does not improve short-duration repeated sprint running performance in male team sport athletes".	Deportistas del equipo masculino (21 años) que estuvieran entrenando al menos tres veces por semana en un deporte de equipo y compitiendo a nivel universitario o equivalente (16).	<b>OBJETIVO</b> Investigar el efecto de la ingestión aguda de una inyección (70 ml) de jugo de remolacha, como fuente de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en una prueba de RSP en deportistas de equipo utilizando una prueba de carrera máxima de 40 m de duración.	Cuatro pruebas utilizando una prueba de carrera máxima de 40 m (MST) → 10 x 40m R''=30''. Las líneas separas a 20 metros. Cada participante corrió 10 metros desde la salida giró 180°, corrió 20 metros hasta el otro extremo y volvió a girar 180° para correr 10 metros de nuevo hasta la salida/finalización.	El rendimiento de sprint repetido, evaluado por el decremento de rendimiento de sprint (S <sub>dec</sub> ; %) que cuantifica la fatiga comparando el sprint real sobre el MST con el rendimiento de sprint ideal, no difería entre BR y PLA.  No hubo diferencia entre los ensayos BR y PLA para TT.
			<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> Masa corporal Altura FC Tiempos de sprint		

			Composición Corporal Concentraciones plasmáticas de nitratos Lactato en sangre		
--	--	--	---	--	--

**RSP:** Rendimiento de sprint repetido, **FC:** Frecuencia cardíaca, **ml:** mililitros, **m:** metros, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrato dietético o inorgánico, **MST:** carreras múltiples ida y vuelta, **R'':** Recuperación segundos, **S<sub>dec</sub>:** %: Decremento d rendimiento de sprint, **BR:** Jugo de remolacha, **PLA:** Ensayos de placebo, **TT:** Tiempo total de sprint.

**Tabla 3.3. Resumen de estudios sobre la influencia de la suplementación en el rendimiento deportivo.**

REFERENCIA	TÍTULO	PARTICIPANTES (Nº)	OBJETIVOS Y VARIABLES ANALIZADAS	PROTOCOLO	RESULTADOS
Thompson et al 2018	“Discrete physiological effects of beetroot juice and potassium nitrate Supplementation following 4-wk sprint interval training”.	18 chicos y 12 chicas de entre 26 y 22 años respectivamente, involucrados en deporte de equipo y/o resistencia sin estar altamente entrenados (30).	<b>OBJETIVO</b> Comprobar los efectos de cuatro semanas SIT con y sin dieta simultánea de zumo de remolacha rico en nitratos (NO <sub>3</sub> ) o zumo rico en nitratos de potasio (KNO <sub>3</sub> ).	Tres grupos de seis chicos y cuatro chicas: 1 → SIT sin suplementación NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> . 2 → SIT con suplementación de BR. 3 → SIT con suplementos de KNO <sub>3</sub> . 70 ml de suplementación asignada (2,5h del ejercicio). 14 sesiones. <u>Sprints</u> : 3 x (4 x 30'' con resistencia R'=4' activo) (semana 1 y 2)	Mejoría de la capacidad de ejercicio de la SIT con suplementación dietética NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en forma de BR que solo o combinado con la suplementación dietética NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en forma de KNO <sub>3</sub> . Reducción en la acumulación de lactato muscular.
			<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> t (s) Presión sanguínea Análisis de sangre y NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> Biopsia muscular Metabolitos musculares (PCr, ATP, lactato) Glucógeno muscular y pH		

			Tipo de fibra muscular $VO_{2max}$ GET V Intercambio de gases pulmonares de respiración por aliento	4 x (5 x 30'' con resistencia $R'=4'$ activo) (semana 3 y 5) <u>Prueba incremental:</u> 3' x 20W, 30W/min hasta fallo <u>Prueba escalonada:</u> 3' x 20W, hasta el fallo. <u>Protocolo P-MRS</u>	
--	--	--	---	--	--

**SIT:** Sprint Interval training, **NO<sub>3</sub>:** Nitratos, **KNO<sub>3</sub>:** Nitratos de potasio, **t:** tiempo, **s:** segundos, **NO<sub>2</sub>:** Plasma, **PCr:** Fosfocreatina, **ATP:** Adenosín trifosfato, **VO<sub>2max</sub>:** Volumen máximo de oxígeno, **GET:** *Gas exchange threshold* (umbral de intercambio de gas), **V:** Velocidad, **ml:** mililitros, **h:** horas, **R':** Recuperación minutos, **W:** Watios, **min:** minutos, **MRS:** Espectroscopía resonancia magnética no invasiva (MR) in vivo, **P:** Fósforo.

**Tabla 3.4. Resumen de estudios sobre la influencia de la suplementación en el rendimiento deportivo.**

REFERENCIA	TÍTULO	PARTICIPANTES (Nº)	OBJETIVOS Y VARIABLES ANALIZADAS	PROTOCOLO	RESULTADOS
Domínguez et al 2018	"Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts".	Nueve estudios seleccionados (120 sujetos, 107 hombres y 13 mujeres). Cinco sobre los efectos de un único suplemento de jugo de remolacha (efectos agudos) → 120, 150 y 180 min antes del ejercicio. Cuatro sobre los efectos de la	<b>OBJETIVO</b> Realizar una revisión bibliográfica de los efectos de la suplementación de jugo de remolacha en los esfuerzos de alta intensidad y corta duración.	Se realizó una búsqueda hasta el 31 de marzo de 2017 utilizando diferentes palabras claves y criterios de exclusión. Posteriormente, se eliminaron estudios repetidos y se acotó la búsqueda según unos criterios de elegibilidad seleccionados previamente. Quedando únicamente nueve. Una vez escogidos se analizaron los participantes, las dosis, los tipos de estudios, las pruebas realizadas, los aspectos evaluados y los resultados	- La suplementación de BJ disminuye la fatiga muscular asociada a esfuerzos de alta intensidad, pero no se sabe cómo. - El BJ puede ayudar a la recuperación de las reservas de fosfocreatina, debido a su metabolismo oxidativo. - El BJ mejora la liberación y recaptación de Ca en el
			<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> La influencia de la suplementación de BJ.		

		<p>suplementación crónica de jugo de remolacha y raíz → 5, 6 y 7 días.</p>		<p>obtenidos. Obteniéndose una tabla que resume todo.</p>	<p>retículo sarcoplasmático, ayudando a la producción de energía asociada con mejoras en la velocidad de acortamiento muscular.</p>
--	--	--	--	---	---

**min:** minutos, **BJ:** Betroot juice (jugo de remolacha), **Ca:** Calcio.

**Tabla 3.5. Resumen de estudios sobre la influencia de la suplementación en el rendimiento deportivo.**

REFERENCIA	TÍTULO	PARTICIPANTES (Nº)	OBJETIVOS Y VARIABLES ANALIZADAS	PROTOCOLO	RESULTADOS
López-Samanes et al 2020	“Does Acute Beetroot Juice Supplementation Improve Neuromuscular Performance and Match Activity in Young Basketball Players? A Randomized, Placebo-Controlled Study”.	Diez jugadores, entre 15 y 16 años, de baloncesto (cuatro guardias, cuatro delanteros y dos centros) con ocho años de experiencia en el deporte, sin contraindicaciones para seguir la dieta y sin ninguna limitación social, problema de salud o lesión	<b>OBJETIVO</b> Investigar los efectos de la suplementación aguda de BJ en la mejora del rendimiento neuromuscular y la actividad del partido físico en el baloncesto.	Se realizaron dos sesiones idénticas en dos días con una semana de separación, donde se asignó a los participantes una dosis de 140 ml de BJ o PLA enmascarado 3 h antes de iniciar la batería neuromuscular.  Sesiones de prueba neuromuscular: Tres <u>CMJ</u> r''=45'' R'=5' <u>Fuerza isométrica en empuñadura</u> (dinamómetro) 2 / r''=45''	La ingestión de dosis de BJ no mejoró el rendimiento neuromuscular ni la actividad el día del partido, en comparación con PLA.
			<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> Composición corporal BJ y PLA (mmol de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) MVC en Kg ajustándose al peso corporal de cada sujeto y convirtiéndolo en N x Kg x 9,8 (F) t (s)		

		<p>musculoesquelética (10).</p>	<p>Altura de salto (cm) Distancias recorridas V y V<sub>max</sub> (km/h) Aceleraciones y desaceleraciones Carga del jugador HR<sub>mean</sub> y HR<sub>max</sub> (m/s<sup>2</sup>) RPE (ppm)</p>	<p><u>Sprints de 10 y 20 m</u>: 2 x 20m al 100% r'=3' (medidas de 0-10m y 0-20m). <u>Test de agilidad</u>: 2 / r'=2' → 5m hacia adelante, 2.5m a la izquierda, 5m a la derecha, 2.5m a la izquierda, y 5m hacia atrás hasta cruzar la línea de salida. Sesión de competición: <u>Partido de baloncesto</u>: 5vs5 (40min) Ambos equipos tenían jugadores de cada condición experimental por asignación aleatoria (BR y PLA).</p>	
--	--	-------------------------------------	--	---	--

**BJ**: Betroot juice (jugo de remolacha), **PLA**: Placebo, **mmol**: milimol, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrato inorgánico, **MVC**: Contracción voluntaria máxima, **Kg**: Kilogramos, **N**: Newtons, **t**: tiempo, **s**: segundos, **cm**: centímetros, **V**: Velocidad, **V<sub>max</sub>**: Velocidad máxima, **km**: Kilómetros, **HR<sub>mean</sub>**: Heart rate mean (frecuencia cardíaca media), **HR<sub>max</sub>**: Heart rate maximum (frecuencia cardíaca máxima), **RPE**: Escala de percepción subjetiva del esfuerzo,



**ppm:** pulsaciones por minuto, **ml:** mililitros, **h:** horas, **CMJ:** Countermovement jump (salto con contramovimiento), **m:** metros, **r'':** recuperación entre series segundos, **R':** Recuperación entre prueba minutos, **r':** recuperación entre series minutos, **min:** minutos.

**Tabla 3.6. Resumen de estudios sobre la influencia de la suplementación en el rendimiento deportivo.**

REFERENCIA	TÍTULO	PARTICIPANTES (Nº)	OBJETIVOS Y VARIABLES ANALIZADAS	PROTOCOLO	RESULTADOS
López-Samanes et al 2020	"Effects of Beetroot Juice Ingestion on Physical Performance in Highly Competitive Tennis Players".	Trece tenistas masculinos altamente competitivos entre 25 y 26 años (13).	<b>OBJETIVO</b> Investigar si la ingestión de BJ mejora el rendimiento físico en tenistas.	Dos grupos de manera aleatoria, mismo estudio con una semana de separación (período de lavado). En ambas sesiones se les dio a los participantes un suplemento de 70 ml de BJ o PLA de manera aleatoria. 3h después calentamiento dinámico estandarizado y posteriormente, batería de prueba neuromuscular:	La ingestión de BJ no mejora ninguna de las pruebas de la batería neuromuscular. Por lo que, dosis bajas (70ml) no provocan efectos ergogénicos en el rendimiento físico del tenis.
			<b>VARIABLES ANALIZADAS</b> Composición corporal BJ y PLA (mmol de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) T (°C) y humedad relativa RPE V y V <sub>max</sub> de servicio (Km/h) Altura de salto (cm)		

			<p>Contracciones isométricas máximas</p> <p>t (s)</p>	<p><u>SVT</u>: 5 saques en 5'' y 5 saques submáximos.</p> <p><u>CMJ</u>: 3 al 100% / R''=45''</p> <p><u>IHS</u>: Dos contracciones voluntarias.</p> <p><u>Prueba de agilidad (metros)</u>: 5-0-5 (lado DOM y NO-DOM).</p> <p><u>10 m sprint</u>: 2 / R'=1'</p>	
--	--	--	---	--	--

**BJ**: Betroot juice (jugo de remolacha), **PLA**: Placebo, **mmol**: milimol, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Nitrato inorgánico, **T**: Temperatura, **RPE**: Escala de percepción subjetiva del esfuerzo, **V**: Velocidad, **V<sub>max</sub>**: Velocidad máxima, **km**: Kilómetros, **h**: horas, **cm**: centímetros, **t**: tiempo, **s**: segundos, **ml**: mililitros, **SVT**: Serve velocity test (velocidad de servicio de tenis), **CMJ**: Countermovement jump (salto con contramovimiento), **R''**: Recuperación segundos, **IHS**: Isometric handgrip strength (fuerza isométrica de empuñadura), **DOM**: Lado dominando, **NO-DOM**: Lado no dominante, **m**: metros, **R'**: recuperación minutos.

#### **4. Objetivos e hipótesis.**

Con la finalidad de concretar el origen de esta investigación/intervención se han fijado cuatro objetivos generales, en relación con el propósito principal del estudio. Al mismo tiempo, estos fueron ordenados por objetivos de carácter más específico para indagar sobre su efecto.

En relación con los objetivos específicos, se enunciaron diferentes hipótesis de trabajo. Los objetivos generales y específicos y las hipótesis se detallan a continuación.

##### **4.1. Objetivo 1. Evaluar la influencia de la ingesta de zumo de remolacha durante el rendimiento de esfuerzos de sprint.**

Objetivos específicos e hipótesis relacionadas:

- Medir si la ingesta de 140ml mejora los esfuerzos de velocidad de 60m.
- Medir si la ingesta de 140ml mejora los esfuerzos de velocidad de 100m.

**Hipótesis 1:** Una cantidad ingerida de 140ml de zumo de remolacha rica en nitratos mejora el rendimiento de los atletas en la prueba de sprint de 60 metros.

**Hipótesis 2:** Una cantidad ingerida de 140ml de zumo de remolacha rica en nitratos mejora el rendimiento de los atletas en la prueba de sprint de 100 metros.

##### **4.2. Objetivo 2. Evaluar la influencia de la ingesta de zumo de remolacha durante el rendimiento de potencia de salto y esfuerzos de fuerza máxima.**

Objetivos específicos e hipótesis relacionadas:

- Medir el rendimiento con la ingesta de zumo de remolacha durante pruebas de potencia mediante el salto (SJ y CMJ).
- Medir el rendimiento con la ingesta de zumo de remolacha durante la prueba de fuerza máxima isométrica (HANDGRIP).

**Hipótesis 3:** La ingesta de una suplementación de zumo de remolacha mejora rendimientos en pruebas de salto, tales como squat jump (SJ) y countermovement jump (CMJ).

**Hipótesis 4:** La ingesta de zumo de remolacha como suplementación deportiva mejora el rendimiento en esfuerzos de fuerza isométrica máximos medidos con un dinamómetro de mano en ambos brazos.

## **5. Método.**

Como se ha podido observar en la introducción, no son evidentes las ayudas ergogénicas que aparecen gracias a una suplementación de zumo de remolacha rica en nitratos. Por lo que, son necesarias más investigaciones o estudios sobre las líneas de mejora ya estudiadas, y sobre los posibles beneficios que aún se desconocen. Esto será estudiado y analizado en el presente estudio, mediante diferentes apartados que estructurarán su desarrollo.

Apenas hay evidencias en esfuerzos intermitentes/sprint, sin embargo, siguiendo con la línea de del estudio de Jones (2016), parece que podrían existir beneficios en esfuerzos de sprint gracias a una mayor sensibilidad de las fibras rápidas (tipo II) al NO (jugo de remolacha). Esto favorece la liberación de calcio y, por tanto, un incremento en la producción de fuerza y potencia. A pesar de que este estudio, se evaluó en ratas de laboratorio, los mecanismos fisiológicos descritos son similares a los seres humanos.

El estudio se realizó en la pista de atletismo de Alcorcón durante el mes de noviembre de 2020. Las pruebas se realizaron en dos días de la misma semana, miércoles y viernes. En ambos, los atletas hicieron las pruebas de carrera, potencia y fuerza isométrica en la pista de atletismo. El horario se encontraba organizado por horas para evitar acumulaciones, comenzando a las 16:10 am con el primer sujeto y finalizando a las 20:20 pm con el último.

### **5.1. Participantes.**

El estudio contó con 17 deportistas, aunque solo lo completaron 14 atletas varones por motivos que se explicarán en los resultados y discusión final. Todos ellos eran corredores, por lo general, de pruebas de medio fondo o de diferentes modalidades de atletismo, como velocidad, carreras de vallas, salto de longitud, triple salto o salto de altura. Algunos de los sujetos pertenecían al Club de Atletismo Alcorcón y otros, al Club de Atletismo Arroyomolinos. La mayoría llevaban varios años practicando esta disciplina, estando federados y habiendo realizado varias competiciones a nivel regional, dentro de la Comunidad de Madrid, y nacional.

Los criterios de inclusión que se utilizaron para componer los participantes fueron: atletas con experiencia en el entrenamiento de media intensidad, nivel de forma física medio-alto bueno, es decir, sin lesiones, molestias o posible fatiga, y nivel de rendimiento positivo en pruebas de mediofondo o velocidad. Por este motivo tenían que haber entrenado y competido, dentro de la posibilidad ante esta situación sanitaria, durante esta temporada de manera gradual y controlada. Al mismo tiempo, se tuvieron en cuenta sus participaciones en campeonatos regionales o nacionales de la temporada pasada, así como, sus marcas personales para estimar su nivel de rendimiento.

Por otro lado, dentro de los criterios de exclusión seleccionados para definir los participantes se incluyeron: alguna molestia o lesión previa o durante su realización, alergias sobre la suplementación de zumo de remolacha e ingesta inadecuada o tardía del zumo de remolacha o placebo (2,5 horas antes).

Se realizaron imágenes y vídeos con fines pedagógicos o de estudio que se pueden observar en el apartado de *Anexos*.

La tabla 5.1. muestra las características físicas y de rendimiento obtenidas de los diferentes participantes.

**Tabla 5.1.** Datos físicos y de rendimiento de los diferentes sujetos.

Participantes	Edad	Altura	Peso	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	% Graso	Años que empezó a practicar disciplina deportiva	100m
1	25	1,75	68	22,2	5,0	10	11,94
2	23	1,83	75	23,3	17,7	9	12,02
3	28	1,73	70	23,3	10,8	11	13,14
4	23	1,7	60	20,8	5,0	13	12,02
5	24	1,7	68	23,4	6,6	12	12,14
6	24	1,72	67	22,7	8,3	8	12,81
7	28	1,85	75	21,9	8,7	6	12,92
9	16	1,7	54	15,9	5,0	8	13,09
11	16	1,75	67	21,8	11,5	12	12,04
13	26	1,9	78	21,6	7,0	12	11,56
14	22	1,72	68	23,1	8,2	15	11,50
15	25	1,77	94	29,8	16,5	25	13,41
16	19	1,83	75	22,2	8,2	18	12,61
17	36	1,73	70	24,3	12,4	35	13,81

**IMC:** Índice de masa corporal, **Kg/m<sup>2</sup>:** kilogramo/estatura en metros<sup>2</sup>, **m:** metros.

## 5.2. Instrumentos.

Para comenzar, se utilizó una tabla sobre datos personales (físicos y de rendimiento), donde a los sujetos se les preguntaban datos sobre su edad, peso, altura, fecha de nacimiento, años que comenzó a practicar su disciplina deportiva y mejor marca en 100 metros. Al mismo tiempo, gracias al peso/altura y a la báscula (BC-601, Tanita, Francia) utilizada para calcular el peso, se hallaron el IMC (índice de masa corporal) y el porcentaje graso.

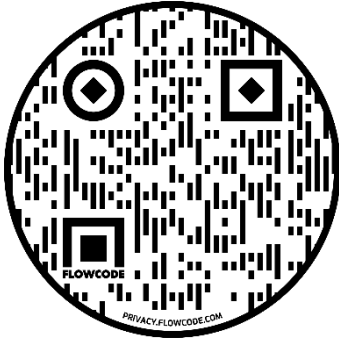
Posteriormente, una vez habían calentado, estirado y practicado las diferentes pruebas, se utilizó una plataforma de salto o contacto (Optojump, Microgate, Italy) para medir la fuerza explosiva de los miembros inferiores en las pruebas de potencia SJ y CMJ. Después, para evaluar la fuerza isométrica máxima se empleó un dinamómetro de mano (SMEDLEY III T-19D, Takei, Japón), realizándose una medición en cada brazo. Al finalizar las mediciones de potencia y fuerza, se usaron diferentes fotocélulas (Smartspeed, Fusion Sport, Australia) para la prueba de velocidad a pie, colocándose al inicio (0m), en los primeros metros (30m), en el medio aproximadamente (60m) y al final (100m).

### **5.3. Procedimiento.**

La muestra se dividió en dos grupos en función de su marca reciente en una competición de 100m. Las pruebas se realizaron durante dos días separados por 48 horas. Uno de los dos grupos fue asignado como grupo control el primer día y experimental el segundo día, mientras que el otro grupo empezó siendo experimental y después control

La investigación se llevó a cabo en dos días de la misma semana, miércoles y viernes, donde los participantes siguieron una organización horaria para evitar la acumulación, como se ha mencionado anteriormente. En ambos días, los sujetos realizaron el mismo protocolo que se explica u ordena en los párrafos siguientes, la diferencia se encontraba en la suplementación asignada, siendo uno de los días placebo y el otro, zumo de remolacha o al revés. Esta fue entregada en dos botes de 70 ml cada uno antes del primer día y después de este. Dicha ayuda ergogénica tenía que ser tomada 2,5 horas antes de la intervención, los participantes en ningún momento conocían cuál era la suplementación asignada, ya que tenían un sabor, olor y color muy similar.

Al mismo tiempo, los sujetos debían seguir unas instrucciones dietéticas previas para la correcta realización del estudio. Estas se pueden observar de manera más concreta en el código QR que se adjunta a continuación.



**Figura 5.1.** Código QR con las instrucciones dietéticas previas al estudio (creado por *Flowcode*).

---

### 5.3.1. Datos personales.

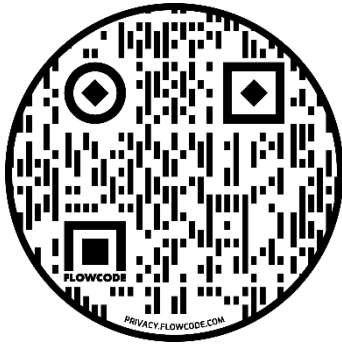
Al llegar los sujetos al gimnasio de la pista de atletismo de Alcorcón, se les preguntaron cuestiones físicas (edad, altura, peso y fecha de nacimiento) y de rendimiento (años que empezó a practicar la disciplina deportiva y mejor marca en 100 metros) como se puede observar en la tabla 5.1. Posteriormente, se calcularon dos valores más: su IMC, gracias al peso y a la altura, y su porcentaje graso, gracias a que se pesaban en una báscula que calculaba de manera aproximada este dato.

### 5.3.2. Calentamiento.

El calentamiento realizado ambos días se dividió en diferentes partes:

- 1) Nueve minutos de carrera continua suave.
- 2) Estiramientos dinámicos (Figura 5.1.). Estos eran:
  - Recorrido 180° con rodillas.
  - Recorrido 90° brazo-pie contrario.
  - 90° brazo-pie contrario boca abajo.
  - Split lateral.
  - Split frontal.
  - *World's greatest stretch*.
  - Peso muerto.
  - Glúteo-isquios
  - *2nd World's greatest stretch*.





**Figura 5.2.** Código QR con los estiramientos dinámicos y sus explicaciones (creado por *Flowcode*).

- 
- 3) Dos SJ recuperando 30 segundos al 90% (no máximo) → 2xSJ r'30'' (no máximo 90%).
  - 4) Dos CMJ recuperando 30 segundos al 90% (no máximo) → 2xCMJ r'30'' (no máximo 90%).
  - 5) Dos progresivos de 60 metros al 90% recuperando un minuto → 2x60m al 90% r'1'.

### 5.3.3. Saltos y fuerza isométrica.

Al finalizar el calentamiento, los sujetos iban a la plataforma de salto y realizaban las mediciones de potencia y fuerza.

En primer lugar, en la plataforma de salto hicieron las de potencia (una repetición en cada salto), primero con el SJ máximo (salto vertical máximo partiendo de la posición de flexión de rodillas de 90°) y segundo, con el CMJ máximo (desde una posición erguida y con las manos en las caderas, se realiza un salto vertical por medio de una flexión de piernas seguida lo más rápidamente de una extensión de piernas). En ambos saltos se amortigua la caída con otra flexión de rodillas para reducir el impacto. La realización del SJ y del CMJ permitió calcular la fuerza explosiva de los miembros inferiores en cada sujeto.

En segundo lugar, se midió la fuerza isométrica mediante un dinamómetro de mano en una toma con ambos brazos. Este dispositivo permitió saber los valores de fuerza máxima en los diferentes sujetos. El procedimiento consistía en apretar, con los dedos de la mano, lo máximo posible el dinamómetro en unos segundos, para que de esta forma nos diese los datos de fuerza máxima.

Las variables analizadas fueron:

- Fuerza explosiva (N) en el SJ con la plataforma de salto.
- Fuerza explosiva (N) en el CMJ con la plataforma de salto
- Fuerza isométrica máxima (N) en ambos brazos con el dinamómetro de mano.

#### 5.3.4. Velocidad.

Al finalizar las pruebas de potencia y fuerza isométrica, los sujetos se ponían las zapatillas de clavos y pasaban a la velocidad que era la última. Antes de comenzar con la medición, los sujetos hicieron alguna prueba suave de la salida o de la carrea, intentando evitar lesiones o posibles sobrecargas. Una vez preparados, los sujetos realizaban 60 metros a velocidad máxima, descansaban unos minutos (3'-5') y hacían 100 metros, también a velocidad máxima. Las fotocélulas se encontraban situadas en la salida (0m), primeros metros (30m), pasado el medio (60m) y al final (100m), fueron utilizadas para conocer el tiempo que tardó cada sujeto en completar ambas pruebas.

Las variables analizadas fueron:

- Tiempo (min) en el esfuerzo de 60m, medido por las fotocélulas a su paso.
- Tiempo (min) en el esfuerzo de 100m, medido por las fotocélulas a su paso.

Una vez terminadas todas las pruebas del primer día, los sujetos volvían al gimnasio para recibir la suplementación que se deberían tomar para el segundo día, siguiendo las indicaciones comentadas anteriormente.

#### **5.4. Análisis de datos.**

El paquete de datos obtenidos se procesó con el programa SPSS Statistics 19.

Para el estudio, se aplicaron Pruebas T para muestras relacionadas, tanto para comprobar que no hubiera diferencias al aparear los sujetos como para observar las diferencias en las variables de rendimiento deportivo. Todos los datos se expresaron como media (M) y desviación estándar (DT). El nivel de significación estadística establecido fue de  $p < 0,05$ .

En aquellos casos donde no se hallase resultados significativos en la amplitud eléctrica muscular, se calculó el tamaño del efecto (Estadístico  $d$  de Cohen). Cohen (1988) define el tamaño del efecto (TE) como: Pequeño ( $d=0,2$ ), Mediano ( $d=0,5$ ), Grande ( $d=0,8$ ).

## **6. Resultados.**

En la prueba de 60 metros un participante no pudo realizarla por sobrecarga o posible lesión muscular, por lo que, los datos de los otros trece participantes completaron el análisis de esta variable. Por otro lado, en la prueba de 100 metros, aparte del sujeto mencionado anteriormente, hubo otro atleta que no pudo hacerla por el mismo motivo en medio de la prueba, de este modo, se terminaron seleccionando doce atletas para esta variable. Teniendo una validación de estudio de éxito con 93% de los participantes en el 60 (13/14) y un 86% en el 100 (12/14). En las pruebas de potencia, a través de saltos (SJ y CMJ), y de fuerza isométrica máxima el 100% (14/14) de los sujetos las realizaron. El 100% de los atletas cumplieron con la suplementación asignada. La estrategia nutricional establecida fue bien tolerada.

Los resultados se presentan en cuatro subapartados con sus correspondientes explicaciones y representaciones gráficas. Siguiendo las variables analizadas y las características del análisis de datos mencionadas anteriormente.

### Resultados de características físicas y de rendimiento.

No se hallaron diferencias significativas en ninguna de las variables descriptivas entre ambos grupos ( $p<0,05$ ). En la tabla 6.1. se pueden observar estos datos del conjunto de todos los participantes.

**Tabla 6.1.** Características físicas y de rendimiento de los sujetos.

<b>Variables</b>	<b>M ± DT</b>
Edad	23,93 ± 5,12
Altura	1,76 ± 0,06
Peso	70,59 ± 9,03
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,59 ± 2,87
% Graso	9,35 ± 4,03
Inicio de disciplina (años)	13,86 ± 7,73
100 metros (tiempo)	12,50 ± 0,71

**IMC:** Índice de masa corporal, **Kg/m<sup>2</sup>:** kilogramo/estatura en metros<sup>2</sup>.

Resultados de pruebas de potencia (SJMAX y CMJMAX).

No se observaron diferencias significativas entre condiciones BJ (jugo de remolacha) y PLA (placebo) en las pruebas de medición de fuerza explosiva SJ ( $42,17 \pm 4,80$  versus  $42,14 \pm 5,69$ ;  $p = 0,891$ ;  $d = 0,03$ ) y CMJ ( $44,61 \pm 6,33$  versus  $45,25 \pm 6,36$ ;  $p = 0,254$ ;  $d = 0,10$ ) en relación con las variables analizadas: potencia en el salto (tabla 6.2.).

**Tabla 6.2.** Resultados de los saltos en condiciones de remolacha o placebo. Sig.  $p < 0,05$ .

<b>Variables</b>	<b>BJ</b>	<b>PLA</b>	<b>p</b>	<b>d</b>
	<b>M ± DT</b>	<b>M ± DT</b>		
Pot. Salto SJ	$42,17 \pm 4,80$	$42,14 \pm 5,69$	,891	0,03
Pot. Salto CMJ	$44,61 \pm 6,33$	$45,25 \pm 6,36$	,254	0,10

**BJ:** Betroot juice (jugo de remolacha), **PLA:** Placebo, **Pot. Salto:** Potencia de salto, **SJ:** Squat jump (Salto en posición de flexión de rodilla 90°), **CMJ:** Countermovement jump (salto con contramovimiento), **M:** Media, **DT:** Desviación típica, **p:** Nivel significación, **d:** Tamaño del efecto.

### Resultados de pruebas de fuerza isométrica máxima (HANDGRIP).

No se hallaron diferencias significativas en el esfuerzo de fuerza isométrica máxima con dinamómetro de mano ni en la variable analizada: fuerza máxima. Al mismo tiempo, no hubo ninguna diferencia significativa entre condiciones BJ y PLA ( $46,47 \pm 6,93$  versus  $46,75 \pm 7,74$ ;  $p = 0,848$ ;  $d = 0,04$ ) (tabla 6.3.).

**Tabla 6.3.** Resultados de la fuerza isométrica máxima en condiciones de remolacha o placebo. Sig.  $p < 0,05$ .

Variables	BJ	PLA	<i>p</i>	<i>d</i>
	M ± DT	M ± DT		
Fuerza isométrica máxima	$46,47 \pm 6,93$	$46,75 \pm 7,74$	,848	0,04

**BJ:** Betroot juice (jugo de remolacha), **PLA:** Placebo, **M:** Media, **DT:** Desviación típica, **p:** Nivel significación, **d:** Tamaño del efecto.

### Resultados de pruebas de velocidad a pie (60m y 100m).

No se encontraron diferencias significativas entre condiciones BJ (jugo de remolacha) y PLA (placebo) en las pruebas de carrera a pie de 60 metros ( $7,60 \pm 0,41$  versus  $7,63 \pm 0,40$ ;  $p = 0,429$ ;  $d = 0,07$ ) y 100 metros ( $12,65 \pm 0,76$  versus  $12,59 \pm 0,72$ ;  $p = 0,343$ ;  $d = -0,07$ ), ni tampoco en las variables analizadas: tiempo de esfuerzo en ambas (tabla 6.4.).

**Tabla 6.4.** Resultados de las pruebas de velocidad (60 y 100 metros) en condiciones de remolacha y placebo. Sig.  $p < 0,05$ .

Variables	BJ	PLA	<i>p</i>	<i>d</i>
	M ± DT	M ± DT		
60m	7,60 ± 0,41	7,63 ± 0,40	,429	0,07
100m	12,65 ± 0,76	12,59 ± 0,72	,343	-0,07

**BJ:** Betroot juice (jugo de remolacha), **PLA:** Placebo, **m:** metros, **M:** Media, **DT:** Desviación típica, **p:** Nivel significación, **d:** Tamaño del efecto.

## 7. Discusión.

No se hallaron diferencias significativas en ninguna de las variables analizadas, ni en las correspondientes a velocidad (60 y 100 metros) ni en las de potencia de salto (SJ/CMJ) o fuerza máxima isométrica (HANDGRIP). Por esta razón, las hipótesis establecidas previamente fueron descartadas, respecto a la mejora del rendimiento en pruebas de velocidad, potencia y fuerza al ingerir una suplementación de zumo de remolacha rica en nitratos.

Esto es consistente con otros artículos recientes, los cuales no hallaron mejoras directas sobre el rendimiento ni en distintos esfuerzos de sprint (López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020; López-Samanes, Pérez-López, et al., 2020; Reynolds et al., 2020), ni en esfuerzos de potencia (López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020; López-Samanes, Pérez-López, et al., 2020) y ni en esfuerzos de fuerza isométrica máxima (López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020). Sin embargo, algunas publicaciones muestran beneficios en algunos aspectos correspondientes al entrenamiento: fatiga de ejercicios de alta intensidad, la recuperación de reservas de fosfocreatina y la liberación y recaptación de calcio (Domínguez et al., 2018).

Todos estos estudios, al igual que el nuestro, no son consistentes con lo que sugirió Jones (2016), en relación a que las fibras rápidas tienen una mayor sensibilidad al NO<sub>3</sub>, favoreciendo la liberación de calcio y por consiguiente, mayores niveles de fuerza y de potencia. Aun así, debemos considerar que las evidencias publicadas por el autor en este tipo de esfuerzo, se realizó con ratas y no con humanos.

Por otro lado, en el estudio de Thompson et al. (2018) se observaron relaciones directas sobre el rendimiento, es decir, los sujetos con una suplementación dietética rica en NO<sub>3</sub> presentaban un mayor tiempo de trabajo y consumo de oxígeno pico (VO<sub>2pico</sub>) durante un test incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro, así como un mayor tiempo hasta el agotamiento en esfuerzos de alta intensidad. También hallaron valores inferiores de lactato en sangre después del esfuerzo, menor presión arterial en reposo y un coste de oxígeno menor. En conclusión, gracias a esta publicación, se pudo estudiar que el zumo de remolacha como suplemento rico en nitratos tiene efectos beneficiosos en entrenamientos de intervalos de bajo volumen y alta intensidad en contraste con otras ayudas ergogénicas nutricionales. Aunque se evaluaron los efectos del zumo durante un programa a medio plazo con sesiones de RSA (habilidad de repetir sprint) o “interval sprint”, sus posibles beneficios fueron descritos en test de evaluación con cierto componente aeróbico (test en rampa hasta alcanzar VO<sub>2max</sub>, GET, etc.), respecto a pruebas propias de velocidad donde predomina la vía de los fosfágenos, más propia del tipo de esfuerzos evaluados en nuestro estudio.

Por todo ello pensamos, que las evidencias propias del estudio de Thompson et al. (2018), tienen más que ver con los estudios que se han centrado en esfuerzos de resistencia con un mayor componente aeróbico.

Al mismo tiempo, se ha investigado que la suplementación de zumo de remolacha mejora el rendimiento en esfuerzos de resistencia cíclica por el efecto agudo de la vasodilatación que hace que exista un menor coste energético durante cargas de trabajo submáximas (Domínguez et al., 2018; López-Samanes, Gómez Parra, et al., 2020; López-Samanes, Pérez-López, et al., 2020).

El empleo de una suplementación de zumo de remolacha rica en nitratos mejora la vasodilatación muscular, haciendo que se produzca una mayor eficiencia a la hora de

transportar nutrientes y oxígeno, y provocando una mejoría en la eficiencia y la economía. Sin embargo, aún se desconoce el motivo concreto de esta mejora. Es posible que la justificación de esta problemática se deba a la concentración y aplicación de ambas dosis (jugo de remolacha y placebo). Cabe destacar que sí se ha podido afirmar su mayor influencia en pruebas intermitentes con larga duración, aumentando la capacidad de ejercicio en pruebas de entre diez y veinte minutos que en pruebas de menos de un minuto (Reynolds et al., 2020; Thompson et al., 2018).

### Limitaciones.

Dentro de las limitaciones que podemos encontrar en el estudio realizado están las referentes al escaso número de sujetos y a la poca variedad de los mismos, debido a que se trataba de 14 varones que, por lo general, realizaban pruebas de mediofondo. El motivo de no poder disponer de más participantes se debe a la necesidad de que fuesen deportistas altamente entrenados, un aspecto complicado debido a, en primer lugar, la situación que está aconteciendo con el coronavirus y el protocolo anti-Covid que se está estableciendo para garantizar la seguridad y prevención de las personas. Y, en segundo lugar, al momento de la temporada, ya que, ante lo que se ha comentado anteriormente, muchos sujetos no estaban siguiendo un ritmo de entrenamiento alto. Por este motivo, las estrictas medidas de seguridad sanitarias ante esta situación del COVID-19 dificultaron la movilidad y los desplazamientos de los deportistas a la hora de realizar la intervención.

Al mismo tiempo, se produjo la pérdida de tres sujetos como se mencionaba en el apartado de participantes. Uno de ellos por aislamiento al haber estado en contacto con una persona COVID, y los otros dos por lesiones a mitad de la intervención, debido a una sobrecarga en los isquiotibiales al realizar las pruebas de velocidad a pie.

Otra limitación es la rigurosidad en las pruebas y sus mediciones, ya que se estableció una franja horaria para evitar aglomeraciones, haciendo posible que cada deportista pudiese realizar las diferentes pruebas correctamente. Esto permitió que los atletas, el segundo día, realizases los test en la misma franja horaria.



En relación con el párrafo anterior, otro factor limitante fue la hora o el momento de la intervención, debido a que, aparte de que los sujetos realizaron los test en la misma franja horaria ambos días como hemos mencionado en el párrafo anterior, se tuvieron que controlar de manera minuciosa y detallada la temperatura y la humedad para que no influyera en los resultados de los deportistas.

Por último, en relación a los estudios ya realizados, la limitación de no medir las concentraciones plasmáticas de  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$  al ingerir el suplemento, ya que puede influir en su restricción dietética de los alimentos que contienen nitratos.

#### Novedades.

- Primer estudio que evalúa el rendimiento con una suplementación de zumo de remolacha en deportistas especializados en pruebas de velocidad y mediofondo, ya que se había evaluado en esfuerzos de sprint, pero no en velocistas como tal. Al mismo tiempo, se trataba de deportistas con un nivel de entrenamiento muy alto.

#### Futuras líneas de investigación.

Este trabajo puede ser un punto de inicio para el planteamiento de futuras investigaciones relacionadas con los siguientes apartados:

- Realizar el estudio en pruebas de carrera a pie con una duración mayor o en sujetos que practican una modalidad concreta. Permitiendo que aparezcan mejoras significativas por lo comentado y visto anteriormente.

- Estudiar el efecto a largo plazo de llevar una suplementación de zumo de remolacha rica en nitratos durante un mayor período de tiempo, respecto a otros deportistas que realizasen el mismo entrenamiento, pero que actuaran de grupo control.

- Evaluar su influencia en dosis diarias, repartidas, para intentar llegar al medio litro que consumía Eluid Kipchoge diariamente y que le hizo quedarse a veintiséis segundos de bajar de las dos horas en una maratón.

## **8. Conclusiones.**

Las principales conclusiones que se pueden obtener de este estudio son:

1. Los esfuerzos de velocidad (sprint) de carrea a pie no presentan una mejora en el rendimiento al consumir una suplementación de jugo de remolacha rica en nitratos.

En relación a esta conclusión, no se confirmaron las hipótesis 1 y 2.

2. La ingesta de una suplementación de zumo de remolacha no incrementa el nivel de rendimiento ni en las pruebas de potencia (SJ y CMJ) ni en la prueba de fuerza máxima isométrica.

En relación a esta conclusión, no se confirmaron las hipótesis 3 y 4.

Por último, este estudio continúa con la línea actual de intentar averiguar el motivo de esa mejoría del rendimiento a través de una ayuda ergogénica nutricional como es la suplementación de zumo de remolacha rica en nitratos. Sin embargo, es necesario realizar más estudios, con muestras mayores, para conseguir hallar su causa.

## 9. Referencias bibliográficas.

- Achike, F. I., & Kwan, C.-Y. (2003). Nitric oxide, human diseases and the herbal products that affect the nitric oxide signalling pathway. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 30(9), 605-615. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2003.03885.x>
- Alaunyte, I., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2015). Iron and the female athlete: A review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0099-2>
- Baz, I. H. (2000). *Atletismo*. INDE.
- Beneke, R., Hütler, M., & Leithäuser, R. M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(6), 1135-1139. <https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00016>
- Benítez, L. M. T., & Gamarro, F. H. (2010). *El Atletismo como contenido en Educación Física Escolar. Juegos y Actividades para su desarrollo: Principios metodológicos básicos para su desarrollo*. Wanceulen S.L.
- Bernard, O., Ouattara, S., Maddio, F., Jimenez, C., Charpenet, A., Melin, B., & Bittel, J. (2000). Determination of the velocity associated with  $\dot{V}O_2(\text{max})$ . *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 464-470.
- Brandon, L. J. (1995). Physiological Factors Associated with Middle Distance Running Performance: *Sports Medicine*, 19(4), 268-277. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00004>
- Burke, L. (2001). Nutrition for Recovery after competition Chap. 15. In: Burke, L. & Deakin, V. (eds.) *Clinical Sport Nutrition*. McGraw-Hill Companies
- Burke, L., Cort, M., Cox, G., Crawford, R., Desbrow, B., Farthing, L., Minehan, M., Shaw, N., & Warnes, O. (2006). 16 Supplements and sports foods. *SPH P*, 96.
- Burke, L. M. (2013). Practical Considerations for Bicarbonate Loading and Sports Performance. En K.D. Tipton & L. J. C. van Loon (Eds.), *Nestlé Nutrition Institute Workshop Series* (Vol. 75, pp. 15-26). S. KARGER AG. <https://doi.org/10.1159/000345814>
- Campbell, B., & Kreider, R. B. (2008). Conjugated Linoleic Acids: *Current Sports Medicine Reports*, 7(4), 237-241. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31817f2aab>

- Cardona, C., Cejuela, R., & Esteve, J. (2019). *Manual para entrenar deportes de resistencia*. All in your mind.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., & Soule, R. G. (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2318-2324. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.5.2318>
- 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(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
- Esteve-Lanao, J. (2010). *Entrenamiento deportivo, fundamentos y aplicaciones deportivas*. Editorial médica Panamericana.
- Esteve-Lanao, J. y Cejuela, R. (2014). Evaluación de la resistencia en los deportes de resistencia cíclica. En F. Naclerio (Ed.), *Entrenamiento deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes* (Capítulo 13, pp. 195-212). Editorial Panamericana.
- Etzel, M. R. (2004). Manufacture and Use of Dairy Protein Fractions. *The Journal of Nutrition*, 134(4), 996S-1002S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.4.996S>
- Figueroa y Naclerio (2014). Ayudas ergogénicas nutricionales para la actividad física y el deporte. En F. Naclerio (Ed.), *Entrenamiento deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes* (Capítulo 13, pp. 195-212). Editorial Panamericana.
- Fontani, G., Corradeschi, F., Felici, A., Alfatti, F., Bugarini, R., Fiaschi, A. I., Cerretani, D., Montorfano, G., Rizzo, A. M., & Berra, B. (2005). Blood Blackwell Publishing, Ltd. Profiles, body fat and mood state in healthy subjects on different diets supplemented with Omega-3 polyunsaturated fatty acids. *European Journal of Clinical Investigation*, 9.

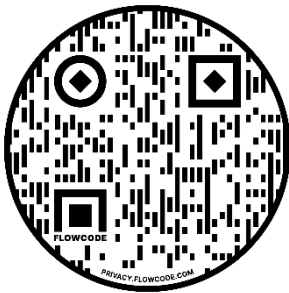
- Hauswirth, C., & Lehénaff, D. (2001). Physiological Demands of Running During Long Distance Runs and Triathlons: *Sports Medicine*, 31(9), 679-689. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131090-00004>
- Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein – Which is Best? *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(3), 118-130.
- 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>
- Joyner, M. J. (1991). Modeling: Optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 683-687. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.2.683>
- Joyner, Michael J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions: Factors that make champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Kreider, R., Ferreira, M. P., Greenwood, M., Wilson, M., & Almada, A. (2002). Effects of Conjugated Linoleic Acid Supplementation During Resistance Training on Body Composition, Bone Density, Strength, and Selected Hematological Markers. *Journal of strength and conditioning research*. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0325:EOCLAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0325:EOCLAS>2.0.CO;2)
- Lenn, J., Uhl, T., Mattacola, C., Boissonneault, G., Yates, J., Ibrahim, W., & Bruckner, G. (2002). The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(10), 1605-1613. <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00012>
- López-Samanes, Á., Gómez Parra, A., Moreno-Pérez, V., & Courel-Ibáñez, J. (2020). Does Acute Beetroot Juice Supplementation Improve Neuromuscular Performance and Match Activity in Young Basketball Players? A Randomized, Placebo-Controlled Study. *Nutrients*, 12(1), 188. <https://doi.org/10.3390/nu12010188>
- 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>
- Maldonado-Martin, S., Mujika, I., & Padilla, S. (2004). Physiological variables to use in the gender comparison in highly trained runners. *J Sports Med Phys Fitness*; 44:8-14.
- Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*. <https://doi.org/10.20960/nh.341>
- Owens, D. J., Allison, R., & Close, G. L. (2018). Vitamin D and the Athlete: Current Perspectives and New Challenges. *Sports Medicine*, 48(S1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0841-9>
- Péronnet, F. (2001). *Maratón: Equilibrio energético, alimentación y entrenamiento del corredor de fondo*. INDE.
- Pinto Fontanillo, J. A. y Fernández Aguado, C. (2005) Los complementos alimenticios en el mercado europea español. ¿Son inocuos?. Niveles de seguridad y evidencia científica de sus beneficios In *Actualización en nutrición 2005 Evidencias en nutrición* (Eds, Iglesias Rosado, C. and Román Martínez, J.) Sanitaria 2000, Madrid, pp. 285-300.
- Polischuk, V. (2007). *ATLETISMO. Iniciación y perfeccionamiento*. Editorial Paidotribo.
- Real Decreto 1275/2003, de 10 de octubre, relativo a los componentes alimenticios, BOE, núm. 246 de 14/10/2003, pp. 36779-36784.
- Reynolds, C. M. E., Evans, M., Halpenny, C., Hughes, C., Jordan, S., Quinn, A., Hone, M., & Egan, B. (2020). Acute ingestion of beetroot juice does not improve short-duration repeated sprint running performance in male team sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 38(18), 2063-2070. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1770409>
- Robergs, R. A. (1998) Glycerol Hyperhydration to beat the heat? *Sportscience training & technology*. <http://www.sportsci.org/traintech/glycerol/rar.htm>
- Sant, J. R. (2005). *METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE ATLETISMO*. Editorial Paidotribo.
- Scheett, T. P., Webster, M., & Wagoner, K. D. (2001). Effectiveness of glycerol as a Rehydrating agent. *Int J. Sports Nutr Exerc. Metabol.*, 11(1), 63-71.

- Sherman, W. M., & Leenders, N. (1995). Fat Loading: The Next Magic Bullet? *International Journal of Sport Nutrition*, 5(s1), S1-S12. <https://doi.org/10.1123/ijns.5.s1.s1>
- Smith, D. J. (2003). A Framework for Understanding the Training Process Leading to Elite Performance: *Sports Medicine*, 33(15), 1103-1126. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00003>
- Szepesi, B. (1997) Carbohidratos, capítulo 5. In *Conocimientos actuales sobre nutrición*, (Eds, Ziegler, E. E. and Filer, J. L. J.) Copublicación Organización Panamericana de la Salud e Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, pp. 37-48.
- Thompson, C., Vanhatalo, A., Kadach, S., Wylie, L. J., Fulford, J., Ferguson, S. K., Blackwell, J. R., Bailey, S. J., & Jones, A. M. (2018). Discrete physiological effects of beetroot juice and potassium nitrate supplementation following 4-wk sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1519-1528. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00047.2018>
- Tipton, Kevin D., & Wolfe, R. R. (2004). Protein and amino acids for athletes. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 65-79. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140554>
- Tsuji, H., Kasai, M., Takeuchi, H., Nakamura, M., Okazaki, M., & Kondo, K. (2001). Dietary Medium-Chain Triacylglycerols Suppress Accumulation of Body Fat in a Double-Blind, Controlled Trial in Healthy Men and Women. *The Journal of Nutrition*, 131(11), 2853-2859. <https://doi.org/10.1093/jn/131.11.2853>
- Vanlandewijck, Y., Theisen, D., & Daly, D. (2001). Wheelchair Propulsion Biomechanics: Implications for Wheelchair Sports. *Sports Medicine*, 31(5), 339-367. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00005>
- Wagner, J. C. (1995) Glycerol: performance aid or Fad?, *Strength Cond. J.*, 17(6), 60-61.
- Wildman, R. E. C., & Kelley, M. (2007). Nutraceuticals and Functional Foods. *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*, 21.
- Williams, M. H. (1998). *The Ergogenics Edge: Pushing the Limits of Sports Performance*. Human Kinetics.

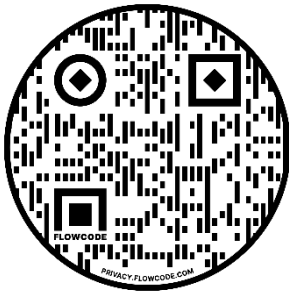
## 10. Anexos.

---



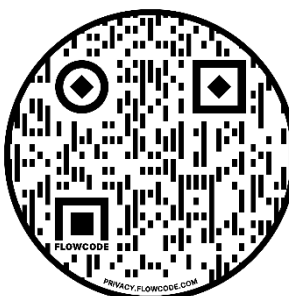
**Vídeo 10.1.** Calentamiento:  
estiramientos dinámicos  
(creado por *Flowcode*).

---



**Vídeo 10.2.** Calentamiento: Dos SJ  
(creado por *Flowcode*).

---



**Vídeo 10.3.** Calentamiento: Dos  
CMJ (creado por *Flowcode*).

---





**Imagen 10.1.** Prueba CMJ.



**Imagen 10.2.** Prueba fuerza máxima isométrica.



**Imagen 10.3.** Salida 60m y 100m.



**Imagen 10.4.** Prueba de 60 metros.



**Imagen 10.5.** Prueba de 100 metros.