



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE EDUCACIÓN DE SORIA

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

TRABAJO FIN DE GRADO

**EFFECTOS DEL BICARBONATO DE SODIO SOBRE
EL RENDIMIENTO EN CARRERAS DE MONTAÑA
DE KILÓMETRO VERTICAL: UN ESTUDIO
ALEATORIZADO, CRUZADO, CONTROLADO CON
PLACEBO Y DOBLE CIEGO**

Presentado por D. Aitor Beriain Pascual

Tutelado por: Dr. Miguel Ramírez Jiménez

Soria, Julio 2024

RESUMEN

Objetivo: Investigar los efectos de la ingesta de 0,3 g/kg de peso corporal de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) sobre el rendimiento en carreras de montaña de Kilómetro Vertical (KV).

Métodos: Doce corredores experimentados en Trail Running (TR) (nueve hombres y tres mujeres), con una edad promedio de 24,9 ($\pm 10,3$) años, participaron en un estudio experimental de tipo cruzado, aleatorizado, controlado con placebo y doble-ciego. Los participantes realizaron dos ensayos experimentales separados por siete días, completando una prueba de KV tras consumir 0,3 g/kg de NaHCO_3 o placebo. **Resultados:** La ingesta de NaHCO_3 no mostró diferencias significativas en el tiempo total promedio (placebo: 3100,9 \pm 410,2 segundos; bicarbonato: 3116,9 \pm 464,5 segundos; $p>0,05$). Tampoco demostró ser significativo en la percepción del esfuerzo (placebo: 8,8 \pm 1,1 u.a., bicarbonato: 8,7 \pm 0,8 u.a.; $p>0,05$) ni en los niveles de lactato en sangre tras finalizar la prueba (placebo: 8,7 \pm 1,9 mmol/L; bicarbonato: 9,8 \pm 2,9 mmol/L; $p>0,05$). La severidad de las molestias gastrointestinales (GI) no fue significativa entre las condiciones evaluadas. **Conclusiones:** El uso del NaHCO_3 como ayuda ergogénica no mejora significativamente el rendimiento en pruebas de KV. La ausencia de molestias gastrointestinales sugiere que su ingesta no compromete su viabilidad como ayuda ergogénica para mejorar otras capacidades que generen más acidosis metabólica.

Palabras clave: Bicarbonato; Ayudas ergogénicas; Rendimiento; Trail running; Kilómetro vertical.

ABSTRACT

Objective: Analyze the effect of ingesting 0.3 g/kg body weight of sodium bicarbonate (NaHCO_3) on the performance in Vertical Kilometer (VK) races. **Methods:** A randomized, double-blind, placebo-controlled crossover experimental study was carried out, in which the participants involved were 12 experienced Trail runners (9 males and 3 females) with an average age of 24.86 (± 10.2) years. The participants performed two experimental trials separated by seven days, in which they performed a VK test after consuming 0.3 g/kg NaHCO_3 or placebo. **Results:** The intake of NaHCO_3 showed no significant difference between groups in the average total time (placebo: 3100.9 \pm 410.2 seconds; bicarbonate: 3116.9 \pm 464.5 seconds; $p > 0.05$). Neither did it prove to be significant in the perception of effort (placebo: 8.8 \pm 1.1 a.u., bicarbonate: 8.7 \pm 0.8 a.u.; $p > 0.05$) nor in the blood lactate levels determined at the end of the test (placebo: 8.7 \pm 1.9 mmol/L; bicarbonate: 9.8 \pm 2.9 mmol/L; $p > 0.05$). Regarding the gastrointestinal discomfort, no significant differences were observed between the conditions evaluated. **Conclusions:** The use of NaHCO_3 as an ergogenic aid does not significantly improve performance in VK tests. The absence of gastrointestinal discomfort suggests that its intake does not compromise its use as an ergogenic aid to improve other capacities that generate more metabolic acidosis.

Keywords: Bicarbonate; Ergogenic aids; Performance; Trail running; Vertical kilometer.

Índice

1. Introducción.....	9
2. Marco Teórico.....	10
2.1. Caracterización del Trail running como Deporte de Resistencia.....	10
2.2. Factores de Rendimiento del Trail Running	11
2.3. Estrategias Ergogénicas y Nutricionales para Optimizar el Rendimiento	15
2.4. Potenciales Mecanismos y Beneficios del Bicarbonato de Sodio sobre el Rendimiento Específico en Carreras de Montaña de Kilómetro Vertical.....	18
3. Objetivos e Hipótesis.....	21
4. Métodos.....	22
4.1. Diseño del Estudio	22
4.2. Participantes.....	22
4.3. Protocolo Experimental	23
4.4. Medidas y Variables de Estudio	26
4.5. Material.....	27
4.6. Tamaño de la Muestra	27
4.7. Análisis Estadístico	27
5. Resultados.....	28
5.1. Datos Sociodemográficos y de Entrenamiento de la Muestra	28
5.2. Rendimiento en la Prueba de Kilómetro Vertical.....	29
5.3. Malestar gastrointestinal: Incidencia y Severidad	31
6. Discusión	33
7. Conclusiones	38
8. Limitaciones de Estudio	39
9. Futuras Líneas de Investigación	40
10. Referencias Bibliográficas.....	41
11. Anexos.....	48

Figuras:

Figura 1. <i>Clasificación de los factores determinantes del rendimiento en carreras de fondo.</i>	11
Figura 2. <i>Asociación de la forma de obtención de energía con el grado de acidosis y el potencial ergogénico del NaHCO₃.</i>	19
Figura 3. <i>Porcentaje del tiempo total permanecido en las tres zonas de intensidad analizadas durante las carreras de TR</i>	20
Figura 4. <i>Diseño del estudio</i>	23
Figura 5. <i>Cronología de las pruebas experimentales</i>	26
Figura 6. <i>Síntomas GI previos a la administración de la bebida</i>	31
Figura 7. <i>Síntomas GI previos al calentamiento</i>	32
Figura 8. <i>Síntomas GI tras finalizar el KV</i>	32

Tablas:

Tabla 1. <i>Variables descriptivas sociodemográficas de los participantes</i>	28
Tabla 2. <i>Variables de entrenamiento de los participantes</i>	29
Tabla 3. <i>Resultados de las variables analizadas</i>	30

1. Introducción

Hace escasos meses, un hombre y una mujer han logrado el hito de correr los 42,195 km más rápidos de la historia del maratón en sus respectivas categorías. Estos últimos récords responden a años de investigación en fisiología del ejercicio, entrenamiento y nutrición, que están llevando a los deportistas a romper los límites del rendimiento humano, especialmente en deportes de resistencia.

Dentro de las diferentes disciplinas que forman los deportes de resistencia, el Trail running o carreras de montaña, ha emergido como una de las actividades más populares. Dicha modalidad combina la exigencia del ejercicio físico con el atractivo de llevar a cabo su práctica en espacios naturales abiertos, proporcionando a los deportistas una experiencia única y enriquecedora. Todo esto ha dado lugar a un aumento en el número de deportistas que lo practican, así como a un notable crecimiento del número de competiciones de Trail running a nivel mundial (Seguí Urbaneja & Farías Torbidoni, 2018). Este auge ha suscitado un creciente interés entre los investigadores para la búsqueda de nuevas herramientas que posibiliten mejorar el rendimiento en dicho deporte, reflejándose en un aumento considerable de los estudios relacionados con este ámbito en los últimos años.

En la actualidad, se ha demostrado que el rendimiento depende mayoritariamente del entrenamiento físico y la nutrición, sin embargo, otros factores, como la ingesta de determinadas ayudas ergogénicas, han demostrado ser una pieza clave para el desarrollo del rendimiento deportivo. En los deportes de resistencia destacan los nitratos/jugo de remolacha, el glicerol, la β -alanina, la creatina, la cafeína y el bicarbonato de sodio, como las ayudas que mayores beneficios presentan (Australian Institute of Sport, 2022).

En concreto, los efectos del bicarbonato de sodio han sido estudiados en numerosas ocasiones al haber demostrado un elevado beneficio en esfuerzos de alta intensidad que varían entre 30 segundos y 12 minutos (Grgic et al., 2021). Su mecanismo de acción está relacionado con un retraso de la fatiga muscular gracias a su acción amortiguadora de la acidosis metabólica. No obstante, la eficacia del bicarbonato de sodio en el rendimiento en modalidades deportivas emergentes como el Trail running no ha sido estudiada en profundidad.

En este contexto, el presente estudio de investigación se centra en analizar si la ingesta de una ayuda ergogénica específica, como el bicarbonato de sodio, previo a una prueba de Kilómetro Vertical, disciplina perteneciente al Trail Running, produce efectos positivos en el rendimiento.

2. Marco Teórico

2.1. Caracterización del Trail running como Deporte de Resistencia

El Trail running es definido como una modalidad deportiva que combina la carrera y el senderismo por terreno de montaña, caracterizado por la acumulación de desnivel derivado de la presencia de pendientes tanto ascendentes como descendentes (Saugy et al., 2013).

En los últimos años, la práctica deportiva de esta modalidad ha experimentado un creciente interés entre la población, dando lugar al fenómeno denominado como el “boom del Trail running”. Dicho auge es evidenciado tanto en el aumento del número de practicantes como en la organización de eventos relacionados con esta modalidad (Seguí Urbaneja & Farías Torbidoni, 2018).

Atendiendo a los datos mostrados por Seguí Urbaneja y Farías Torbidoni (2018), justificamos la existencia del “boom del Trail running” observando como desde el año 2007 hasta el 2015 se ha producido un incremento de casi tres terceras partes en el número de carreras de Trail running. Estos datos concuerdan con un aumento de práctica de hábitos deportivos en dicho periodo, así como el incremento en el número de licencias y clubes deportivos pertenecientes a la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME).

Por otro lado, realizando una clasificación dentro del presente deporte, la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) (2023) distingue principalmente tres disciplinas distintas:

- **Carreras en línea:** carreras cuya distancia está comprendida entre los 21 y 59 km. Aquellas que se encuentren por debajo de 34 km deberán presentar un desnivel positivo de mínimo 1.200 metros, mientras que, las que se encuentren por encima de los 34 km deberán presentar un desnivel positivo de mínimo 1.500 metros.
- **Ultras:** carreras que presentan una distancia mínima de 60 km y un desnivel positivo acumulado de mínimo 3.600 metros. Estas, a diferencia del resto, pueden realizarse en una o más etapas.
- **Carreras verticales:** carreras cuyo recorrido consiste en una única subida. Esta deberá presentar un desnivel positivo mínimo de 700 metros en una distancia máxima de 8 km. Además, únicamente se consentirá un máximo del 5% de bajada, propia del terreno y no provocada, y la pendiente media deberá presentar un porcentaje comprendido entre el 20% y el 50%. Dentro de esta modalidad, se distinguirán también los Kilómetros

Verticales, competición de 1000 metros de desnivel positivo (+/- 5% tolerancia) que no exceda los 5 kilómetros de distancia y cuya meta se sitúa en la cumbre.

2.2. Factores de Rendimiento del Trail Running

Dado que el TR es considerado una disciplina de resistencia, nos basaremos en la clasificación propuesta por Ogueta-Alday y García-López (2016) (ver **Figura 1**) para identificar los factores más relevantes y limitantes del rendimiento en las carreras de TR:

Figura 1

Clasificación de los factores determinantes del rendimiento en carreras de fondo

1. Ambientales	2. Entrenamiento	3. Fisiológicos	4. Biomecánicos	5. Psicológicos
1.1. Aire/viento	2.1. Resistencia	3.1. VO_{2max}	4.1. Antropometría	5.1. Intervención
1.2. Temperatura	2.2. Fuerza	3.2. Umbral ventilatorio	4.2. Leg-stiffness	5.2. Dirección atención
1.3. Humedad	2.3. Aclimatación calor	3.3. Economía carrera	4.3. Flexibilidad	5.3. Música
1.4. Altitud	2.4. Altura	3.4. Edad	4.4. Patrón de pisada	
1.5. Pendiente terreno		3.5. Género	4.5. Calzado	
		3.6. Fibras musculares	4.6. Osteosis plantares	
		3.7. Fatiga	4.7. Parámetros e-t	
		3.8. Raza		

Nota. Adaptado de *Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo*, por A. Ogueta-Alday y J. García-López, 2016, RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 12(45), p. 278-308.

- **Factores ambientales:** clasificados según las condiciones climatológicas y la localización geográfica (Ogueta-Alday y García-López, 2016). Entre ellos destacan la pendiente del terreno, la humedad, la altitud, la temperatura y el viento. En el contexto de las carreras de KV, atenderemos fundamentalmente a la temperatura y a la pendiente del terreno al considerarlos como los más limitantes en este tipo de disciplina. Ogueta-Alday y García-López (2016) sugieren que la temperatura óptima para llevar a cabo las carreras de fondo está entre 5°C y 15°C, como se deduce del estudio realizado por Helou y otros (2012), donde se observó que el rendimiento se ve considerablemente influido por debajo de los 5°C y por encima de los 15°C. En cuanto a la pendiente del terreno, dado que este tipo de pruebas consisten en realizar únicamente una ascensión con pendientes excesivamente inclinadas, observaremos lo analizado por Giovanelli et al. (2016), donde señalan que, caminar en lugar de correr puede llegar a reducir el consumo de energía de los corredores en pendientes con un grado de inclinación muy elevado.

- **Factores fisiológicos:**

- **VO₂máx:** definido como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo (Ferrero y Fernández, 2001), analizamos como deportistas de resistencia alcanzan valores más elevados (60-80 ml·kg⁻¹·min⁻¹) en comparación con los valores típicos de personas sanas (45ml·kg⁻¹ ·min⁻¹). Además, un estudio realizado por Zubieta y colaboradores (2021) sugiere que los corredores de TR de distancias cortas tienen un VO₂máx mayor en comparación con los corredores de distancias más largas. En referencia a esto, dado que las pruebas de KV pertenecen a las competiciones de menor duración de esta disciplina deportiva, este parámetro fisiológico adquirirá una relevancia especial.
- **Umbral ventilatorio 2 (VT₂):** corresponde a la intensidad máxima de esfuerzo que una persona puede mantener durante un periodo prolongado (Ogueta-Alday y García-López, 2016). Es un indicador determinante en el rendimiento deportivo situado entre el 80% y 90% del consumo máximo de oxígeno en fondistas. Además, cuanto más próximo sea el valor de este con respecto al VO₂máx, mayor será el rendimiento del atleta.
- **Economía de carrera:** tener una buena economía de carrera permitirá a los atletas que, a la misma velocidad, tengan un menor consumo de oxígeno (Saunders et al., 2004) lo que se relacionará con un aumento en sus rendimientos deportivos.
- **Fuerza muscular:** pese a no corresponder el presente factor fisiológico con los tradicionales propuestos por Ogueta-Alday y García-López (2016), considero de vital importancia su inclusión entre los factores fisiológicos determinantes del rendimiento del TR. Investigadores como Durand y Journet (2013) y Ehrtröm y colaboradores (2017), identifican la resistencia a la fuerza de los miembros inferiores como el principal predictor del rendimiento en las carreras de TR. Además, estos señalan que, un entrenamiento de potencia específico para las extremidades inferiores puede contribuir a la mejora del rendimiento en las zonas de pendiente positiva de las carreras por montaña. Esta consideración, por tanto, será especialmente relevante en las carreras de KV, donde la ascensión continua es la característica central.

- **Potencia glucolítica y tolerancia a la acidosis:** Durand y Journet (2013), en su análisis realizado sobre la fisiología de los deportes de resistencia en la montaña, destacan la importancia de presentar una elevada potencia glucolítica y tolerancia a la acidosis como factores determinantes para el logro del máximo rendimiento, especialmente en las pruebas de KV. La potencia glucolítica se refiere a la capacidad del organismo para producir energía de forma rápida a través del proceso de glucólisis, ruta metabólica que transforma, en ausencia de oxígeno, la glucosa en energía. Este proceso proporciona la energía inmediata necesaria para los músculos durante las pruebas de KV, permitiendo a los participantes mantener un alto ritmo durante su ascensión. No obstante, este proceso produce una elevada concentración de lactato en sangre, por lo que, disponer de la capacidad para resistir y gestionar dicha acumulación de lactato, es decir, una elevada tolerancia a la acidosis, permitirá al deportista disminuir el grado de fatiga y aumentará el rendimiento en estas pruebas de esfuerzo máximo y sostenido.
- **Factores biomecánicos:**
 - **Antropometría:** Ogueta-Alday y García-López (2016) señalan que los deportistas de resistencia deben presentar un reducido peso, porcentaje de grasa, índice de masa corporal y sumatorio de pliegues cutáneos, con el fin de obtener la mejor economía de carrera, la cual, anteriormente citada, estará directamente relacionada con el rendimiento.
 - **Rigidez músculo-tendinosa:** la rigidez músculo-tendinosa en las piernas es considerada un factor limitante del rendimiento debido a que, en la carrera, el 70% del trabajo mecánico es ejecutado por los músculos extensores de las articulaciones de las extremidades inferiores (Sasaki & Neptune, 2006). Así pues, atendiendo a lo referenciado por Ogueta-Alday y García-López (2016), un estado óptimo de este indicador reducirá el gasto energético y la activación muscular.
 - **Técnica de carrera y caminar:** el TR se caracteriza por ser un deporte que combina la carrera con el senderismo a causa de las pronunciadas pendientes o terrenos técnicos que podemos encontrarnos durante su práctica. Por ello, a pesar de que Ogueta-Alday y García-López (2016) no introducen este factor dentro de los principales limitantes del rendimiento de esta modalidad,

considero relevante destacar determinadas afirmaciones realizadas por diversos autores que sí resaltan su importancia. Vernillo et al. (2017) subraya como pieza clave mantener una frecuencia de paso más alta en aquellos tramos donde la pendiente es positiva y una menor frecuencia de paso en donde la pendiente es negativa. Estas referencias son ratificadas a su vez por autores como Giovanelli et al. (2016), los cuales señalan que en dichas pendientes positivas, tanto corriendo como caminando, se debe llevar un rango de ángulos con las piernas comprendido entre 20,4° y 35° con el fin de reducir el gasto de energía. Además, estos últimos resaltan, cómo ha sido comentado con anterioridad, que, en pendientes positivas con un elevado porcentaje de inclinación, los atletas pueden llegar a reducir su gasto de energía caminando en lugar de corriendo. Todo ello remarca la importancia de disponer tanto de una buena técnica de carrera como de caminar.

- **Uso de material específico: tipo de calzado y bastones:** La utilización de unas zapatillas de menor peso y bajo drop están relacionadas de manera positiva con la economía de carrera y su coste de energía, lo cual estará correlacionado a su vez con la mejora del rendimiento (Lieberman et al., 2010). Por otro lado, el uso de bastones es un factor muy necesario por considerar ya que permite reducir la actividad muscular de las piernas, dando lugar a la disminución de su nivel de fatiga (Foissac et al., 2008).
- **Factores psicológicos:** elemento fundamental para considerar de cara al logro del máximo rendimiento debido a su influencia directa con la percepción subjetiva del esfuerzo. Artículos como el de Blanchfield et al. (2014), muestran que determinadas estrategias psicológicas pueden llegar a disminuir la percepción subjetiva del esfuerzo en deportes de larga duración.

En términos de rendimiento deportivo, el TR, por tanto, se ve principalmente limitado por cada uno de los factores anteriormente citados. Por consiguiente, alcanzar el máximo rendimiento requiere un entrenamiento físico enfocado en la mejora de cada uno de ellos. Dicho entrenamiento físico-deportivo es considerado la piedra angular para el progreso en esta modalidad, no obstante, sin una nutrición adecuada, el organismo no podría asumir cada carga de entrenamiento ni recuperarse de cara a la próxima sesión, al igual que tampoco sería capaz de rendir al máximo en competición. Es por ello por lo que los corredores de montaña deben mantener una adecuada planificación nutricional e hídrica que garantice la obtención de un

rendimiento deportivo óptimo y reduzca la incidencia de problemas gastrointestinales (Jiménez-Alfageme et al., 2024).

- **Factores nutricionales:**

- **Carbohidratos (CHO):** son considerados los nutrientes con mayor relevancia para el logro del máximo rendimiento. Esto se debe a que, a medida que avanza la actividad deportiva, los niveles de glucógeno disminuyen de manera progresiva y la cantidad de combustible disponible es menor (Tiller et al., 2019). En este sentido, será fundamental determinar la cantidad de carbohidratos a ingerir durante la actividad, la cual dependerá del tipo de deporte que se esté realizando, su duración e intensidad. Según señalan Jiménez-Alfageme y otros (2024), en pruebas de resistencia realizadas a intensidad de competición, con una duración superior a 2,5 horas, deberán consumirse 90 g de CHO por cada hora transcurrida. Además, de acuerdo con las indicaciones aportadas por estos autores, en aquellas actividades de más de 90 minutos de duración, deberán consumirse: de 1 a 4 g/kg entre 1 y 4 horas antes del evento; de 7 a 12 g/kg 24 h antes del evento y de 10 a 12 g/kg 36-48 h antes del evento; y tras finalizar este, deberán ingerirse: de 0,8-1 g/kg/h de rápida absorción durante las primeras 4 horas post-ejercicio y de 5 a 7 g/kg durante el resto del día, junto con la inclusión de proteínas.
- **Hidratación:** en situaciones donde la actividad física fuera llevada a cabo a elevada intensidad o condiciones climatológicas adversas, el corredor de montaña deberá cumplir con las recomendaciones citadas por Jiménez-Alfageme y colaboradores (2024) donde sugieren consumir de 0,6 a 1 litro de líquidos por cada hora transcurrida, distribuyendo dicha toma en dosis más pequeñas de 150-250 ml cada 15-20 minutos, preferiblemente con contenido isotónico. Esta estrategia ayudará a la prevención de la deshidratación y la sobrehidratación, que pueden causar hiponatremia inducida por el ejercicio. El riesgo de sufrir dicha hiponatremia será reducido también ingiriendo de 300 a 600 mg de sodio por cada hora transcurrida.

2.3. Estrategias Ergogénicas y Nutricionales para Optimizar el Rendimiento

Así como un óptimo entrenamiento y una nutrición adecuada resultan esenciales para la mejora del rendimiento, existen determinados compuestos nutricionales que, para ser efectivos, deben

consumirse de forma aislada, dando lugar a las conocidas como ayudas nutricionales ergogénicas.

Atendiendo al sistema de clasificación “ABCD” proporcionado por el Instituto Australiano del Deporte (Australian Institute of Sport o AIS) el cual se basa en categorizar los alimentos deportivos y los ingredientes de los suplementos en cuatro grupos según la evidencia científica y otras consideraciones prácticas que determinan si un producto es seguro, legal y eficaz para mejorar el rendimiento deportivo, actualmente, en el Grupo A, grupo con mayor evidencia científica, entre las ayudas ergogénicas más eficaces y seguras para la mejora del rendimiento deportivo encontramos la cafeína, la β -alanina, los nitratos/jugo de remolacha, la creatina, el glicerol y el bicarbonato de sodio, entre otros (Australian Institute of Sport, 2022).

- **Cafeína:** La suplementación con cafeína da lugar a numerosos efectos positivos en el rendimiento deportivo, especialmente sobre la resistencia aeróbica. Estos efectos son logrados mediante la ingesta de una dosis comprendida en un rango de 3 a 6 mg/kg de peso corporal, habitualmente administrada 60 minutos antes de la actividad física. Se ha evidenciado que este suplemento posee efectos ergogénicos sobre la función cognitiva, particularmente en lo que respecta a la atención y la vigilancia, produciendo beneficios, en términos de rendimiento, tanto a sujetos entrenados como no entrenados. (Guest et al., 2021).
- **β -alanina:** La suplementación con β -alanina, en dosis que oscilan entre 4 y 6 gramos diarios durante un periodo mínimo de 2 a 4 semanas, ha demostrado producir mejoras sobre el rendimiento deportivo, principalmente en tareas de una duración de 1 a 4 minutos. Estos efectos se deben a un aumento en la concentración de carnosina muscular, que actúa como un tampón del pH intracelular. Además, disminuye la fatiga neuromuscular, particularmente en sujetos mayores, y puede llegar a mejorar el rendimiento táctico. En la actualidad, su ingesta es considerada segura en poblaciones sanas, siempre que cumpla con la dosis aconsejada por la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN). Dosis menores pueden asociarse a provocar parestesia (hormigueo) (Trexler et al., 2015).
- **Nitratos / jugo de remolacha:** La suplementación con jugo de remolacha, destacada por su alta concentración de nitrato inorgánico (NO_3^-), incrementa los niveles en sangre de óxido nítrico (NO), lo que resulta efectivo sobre el rendimiento en esfuerzos que exigen elevadas demandas de metabolismo energético oxidativo. La evidencia científica muestra que su ingesta, ya sea en una única dosis o durante varios días, se

atribuye a mejoras en el rendimiento en esfuerzos intermitentes de alta intensidad con breves períodos de descanso. Al mismo tiempo, su consumo podría mejorar la producción de potencia muscular (Domínguez et al., 2018).

- **Creatina:** La suplementación con creatina da lugar a mayores niveles de creatina intramuscular, lo que produce un efecto ergogénico en el ejercicio de alta intensidad, facilitando con ello las adaptaciones al entrenamiento. Asimismo, puede mejorar la recuperación post-ejercicio, prevenir lesiones, optimizar la termorregulación y contribuir a la rehabilitación (Kreider et al., 2017).
- **Glicerol:** La ingesta oral de glicerol, combinada con un gran volumen de líquido, permite una mayor retención temporal de los líquidos ingeridos, lo que resulta beneficioso para los atletas que practiquen disciplinas donde el estado de hidratación puede verse comprometido. Por otro lado, si a dicha solución se le es agregado sodio, su combinación resultante será más efectiva que cualquiera de las estrategias de hiperhidratación comúnmente utilizadas (Australian Institute of Sport, 2021).
- **Bicarbonato de sodio:** La suplementación con bicarbonato de sodio ha demostrado producir efectos ergogénicos en diversas disciplinas de resistencia muscular, deportes de combate, ciclismo, carrera, natación y remo de alta intensidad. Estos beneficios se manifiestan en tareas que involucran una o varias series a alta intensidad, con duraciones comprendidas entre 30 segundos y 12 minutos. Su ingesta puede llevarse a cabo a través de una única dosis previa a la competición o mediante dosis repartidas a lo largo del tiempo. Este segundo enfoque, además de la obtención de beneficios en el rendimiento, permitirá también significativas adaptaciones al entrenamiento, como una mayor producción de potencia y tiempo hasta la aparición de la fatiga. Los protocolos de dosificación prolongada en el tiempo suelen extenderse de 3 a 7 días antes de la competición, ingiriendo una dosis diaria que oscila entre 0,4 y 0,5 g/kg, la cual será administrada en cantidades más pequeñas a lo largo del día (por ejemplo: 0,1 a 0,2 g/kg de bicarbonato de sodio consumido en el desayuno, el almuerzo y la cena). Por otro lado, a diferencia del resto de ayudas ergogénicas, la suplementación con bicarbonato de sodio parece producir un mayor número de efectos secundarios donde destacan la hinchazón, las náuseas, los vómitos y el dolor abdominal, que pueden afectar negativamente al rendimiento. No obstante, utilizar la opción de ingerir dosis repartidas en el tiempo ha mostrado reducir la probabilidad y severidad de sufrir dichos efectos

adversos en comparación con la administración de una dosis única previa a la competición (Grgic et al., 2021).

2.4. Potenciales Mecanismos y Beneficios del Bicarbonato de Sodio sobre el Rendimiento Específico en Carreras de Montaña de Kilómetro Vertical

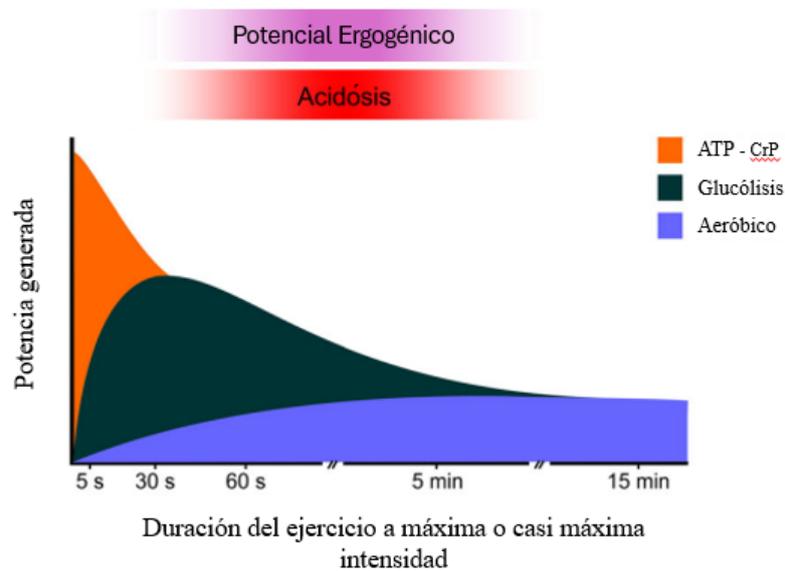
En la actualidad, existe un amplio respaldo de evidencia científica que avala el uso del bicarbonato de sodio (NaHCO_3) como suplemento para mejorar el rendimiento deportivo. La ingesta de esta sustancia da lugar a un aumento en la concentración de bicarbonato en sangre, lo que resulta en un incremento del pH sanguíneo y del transporte de iones de hidrógeno fuera del músculo (Grgic et al., 2020). Esto evita que la glucólisis se ralentice al favorecer el retraso de la aparición de la acidosis metabólica inducida por el ejercicio de alta intensidad, el cuál causa la acumulación de hidrogeniones reduciendo el pH sanguíneo y muscular. El efecto producido por el bicarbonato de sodio permite un mayor flujo de lactato del músculo a la sangre durante dicho ejercicio, contribuyendo al retraso de la fatiga y mejorando el rendimiento deportivo (Duncan et al., 2014).

Numerosos autores, como Cameron y otros (2010) o Grgic y colaboradores (2021), coinciden que, para la obtención de mejoras significativas mediante la suplementación de una dosis única de bicarbonato de sodio, se debe ingerir una cantidad de 0,3 g/kg de peso corporal, administrándose en un momento estandarizado comprendido entre 60 y 180 minutos antes del ejercicio. En dichos protocolos, se ha demostrado que esta sustancia es particularmente ergogénica en esfuerzos máximos de entre 30 segundos y 5 minutos de duración. Esto es debido a que, durante ese periodo de tiempo, la energía para realizar el ejercicio de alta intensidad se obtiene principalmente de la glucólisis, ruta metabólica que transforma en condiciones anaerobias la glucosa en energía, produciendo ácido láctico. Este ácido láctico es transportado al torrente sanguíneo en forma de lactato e hidrogeniones, y estos últimos al acumularse en la sangre pueden llegar a producir la acidosis metabólica. Investigaciones como la de Grgic y otros (2021), muestran que en dicho rango de tiempo (30 segundos a 5 minutos) es donde más acidosis produce el ejercicio de alta intensidad y, por lo tanto, es donde mayores beneficios se obtienen de la suplementación con bicarbonato de sodio. La ingesta de esta sustancia ayudará a neutralizar la acidosis inducida, obteniendo mayores beneficios en comparación a cuando es administrado en ejercicios demasiado cortos o demasiado largos (ver **Figura 2**) (Grgic et al.,

2021). Sin embargo, sus efectos en ejercicios de resistencia de larga duración, mayores a 30 minutos, a máxima intensidad, son más difusos debido a la escasez de estudios al respecto.

Figura 2

Asociación de la forma de obtención de energía con el grado de acidosis y el potencial ergogénico del NaHCO_3



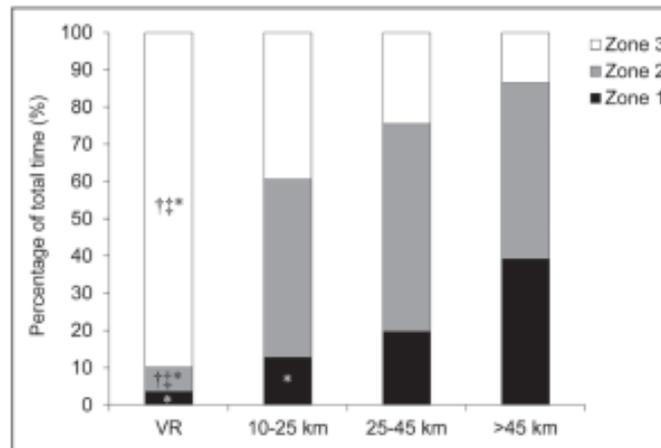
Nota. La imagen representa la contribución de diferentes rutas metabólicas para la obtención de energía durante la realización de una tarea a máxima intensidad y un periodo de tiempo determinado. Las barras horizontales de la parte superior de ésta indican el grado de potencial ergogénico del bicarbonato y la acidosis producida. Adaptado de *International Society of Sports Nutrition position stand: Sodium bicarbonate and exercise performance*, por J. Grgic et al., 2021, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), p. 61.

El TR abarca disciplinas de resistencia de diversa duración, por lo que, será en las pruebas de KV donde se lleve a cabo esta investigación. Esta prueba, a diferencia del resto de las disciplinas de TR, presentan una menor duración, oscilando entre 30 minutos en atletas de alto rendimiento y 1 hora en atletas aficionados. En el KV, el 90% del tiempo total se realiza por encima del segundo umbral ventilatorio (>83% del $\text{VO}_2\text{máx}$) (Rodríguez-Marroyo et al., 2018) (ver **Figura 3**). Este segundo umbral ventilatorio, también conocido con el término de umbral anaeróbico, se sitúa en cantidades cercanas a 4 mmol/L de lactato y se define como la zona en donde la intensidad del ejercicio hace que el lactato comience a incrementar de manera progresiva (Fernández Rodríguez et al., 2019). Esto indica que este tipo de pruebas permiten mantener a sus participantes un esfuerzo máximo durante toda su ejecución, en donde la

acumulación de lactato e hidrogeniones irá incrementando sobre la musculatura implicada debido a mantener una intensidad por encima de dicho umbral.

Figura 3

Porcentaje del tiempo total permanecido en las tres zonas de intensidad analizadas durante las carreras de TR



Nota. Zona 1 (baja intensidad) = por debajo del primer umbral ventilatorio (VT1), <62% VO₂máx; Zona 2 (moderada intensidad) = entre VT1 y el segundo umbral ventilatorio (VT2), entre el 62% y el 83% del VO₂máx; Zona 3 (alta intensidad) = por encima del VT2, >83% VO₂máx; VR = prueba de KV. Adaptado de *Physiological Demands of Mountain Running Races*, por J. A. Rodríguez-Marroyo et al., 2018, *Kinesiology*, 50(1), Artículo 1 5(2), p. 115.

La falta de investigaciones sobre los efectos del bicarbonato de sodio en esfuerzos de tan larga duración plantea la necesidad de investigar si esta ayuda ergogénica puede llegar a resultar efectiva para mejorar el rendimiento específico en estos contextos. Además, dado que las pruebas de KV son ejecutadas la mayor parte de su tiempo por encima del umbral anaeróbico, lo que induce acidosis metabólica, hacen que se perfilen como el escenario idóneo en la presente investigación, donde se evalúa si el bicarbonato de sodio puede amortiguar dicha acidosis.

3. Objetivos e Hipótesis

Objetivos generales:

- Analizar los efectos de la ingesta oral de bicarbonato de sodio sobre el rendimiento específico en una prueba de Kilómetro Vertical en corredores de montaña.

Objetivos específicos:

- Analizar los efectos de la suplementación con bicarbonato de sodio sobre el rendimiento específico del Kilómetro Vertical en el Trail running.
- Analizar los efectos de la suplementación con bicarbonato de sodio sobre indicadores de carga interna como la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) y niveles de lactato en sangre.
- Examinar la incidencia de molestias gastrointestinales inducidas por la suplementación mediante bicarbonato de sodio.

Hipótesis:

La hipótesis de partida se basa en que la ingesta de bicarbonato de sodio tampona la acidosis metabólica producida durante una prueba de Kilómetro Vertical de Trail running, reduciendo la percepción de la fatiga y mejorando el rendimiento, en ausencia de molestias gastrointestinales.

4. Métodos

4.1. Diseño del Estudio

Pretendió llevarse a cabo un estudio experimental de tipo cruzado, aleatorizado, controlado con placebo y doble-ciego. La duración del estudio fue de 4 meses, iniciando el reclutamiento en enero de 2024 hasta finales de febrero de 2024, tratando de alcanzar el número de participantes más próximo a la muestra de estudio previamente fijada, para seguidamente, durante el mes de marzo de 2024 iniciar con las mediciones de este.

4.2. Participantes

Los participantes fueron reclutados a través de una campaña publicitaria difundida por los diferentes puntos neurálgicos de Soria y municipios de la provincia: universidad, centros deportivos, ayuntamiento y otras instalaciones municipales y de la diputación. Igualmente se establecieron diversas formas de difusión del proyecto mediante carteles, anuncios publicitarios en medios locales y redes sociales, etc.

Toda la información relacionada con el estudio, incluidos los criterios de inclusión y exclusión, fue reflejada en los medios de difusión anteriormente citados. A partir de ello, todos los participantes que cumplían dichos criterios y desearan participar, debían leer y firmar un consentimiento informado que previamente había sido aprobado por el comité de ética de la Universidad de Valladolid. Además, el propio investigador fue el encargado de revisar y verificar estos criterios para garantizar su cumplimiento por parte de todos los participantes. Los criterios de inclusión y exclusión fueron los siguientes:

- Criterios de **inclusión**:
 - Presentar la mayoría de edad.
 - Disponer de una experiencia de >6 meses corriendo por montaña entre 3 y 6 días a la semana.
 - Superar el cuestionario PAR-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire).
- Criterios de **exclusión**:
 - Tener un diagnóstico de patología que impida o limite la realización de ejercicio físico.
 - Estar utilizando y tomando bicarbonato de sodio como ayuda ergogénica.

A partir de ello, inicialmente fueron reclutados un total de 16 participantes, 9 hombres y 8 mujeres. Sin embargo, tres de estos sujetos tuvieron que abandonar el estudio por diversas

razones. Uno de ellos por imposibilidad de ajuste en el calendario con las fechas propuestas para su llevada a cabo, mientras que, los dos restantes, lo realizaron por motivos de lesión y problemas personales tras haber superado el primer día experimental.

Como resultado, el estudio propuesto contó con una muestra única compuesta por nueve corredores masculinos y tres corredoras femeninas. Todos ellos/as ofrecidos de manera voluntaria y cumpliendo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos para el presente estudio.

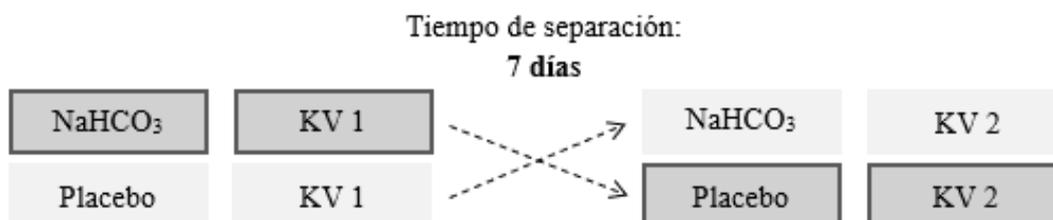
De este modo, se aseguraba que la muestra seleccionada era adecuada, garantizando la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

4.3. Protocolo Experimental

Los/as participantes formaron parte, en primera instancia, de una prueba preliminar en la cual se comprobó si cumplían con los criterios de inclusión y exclusión, además de llevarse a cabo el registro de diversas variables descriptivas sociodemográficas y de entrenamiento de cada uno de ellos. En segundo lugar, intervinieron en dos ensayos experimentales en los que ingirieron una dosis única de $\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl}$ mezclada en 500 ml de bebida isotónica Powerade Ice Storm o NaCl mezclada en 500 ml de bebida isotónica Powerade Ice Storm (placebo). Estos dos días experimentales fueron aleatorizados y separados con siete días de diferencia al considerarse tiempo suficiente para favorecer una recuperación completa y eliminar cualquier efecto ergogénico producido por el bicarbonato de sodio (ver **Figura 4**) (Bishop & Claudius, 2005). Además, ambas situaciones experimentales fueron realizadas con las mismas condiciones: misma hora del día para garantizar que los hallazgos no se vieran afectados por el ritmo circadiano; misma alimentación; y mismo entrenamiento previo.

Figura 4

Diseño del estudio



Nota. Los participantes intervinieron en dos pruebas de KV perteneciendo al grupo placebo y grupo NaHCO_3 de forma cruzada, aleatorizada y doble ciega. KV = Kilómetro Vertical; NaHCO_3 = suplementación con bicarbonato. Adaptado de *Effects of Induced Metabolic*

Alkalosis on Prolonged Intermittent-Sprint Performance, por Bishop, D., & Claudius, B., 2005, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), pp. 759-767.

De la misma manera que los participantes, el investigador tampoco conoció a qué día le correspondió a cada participante el placebo y a cuál el bicarbonato (doble ciego).

Por otro lado, con lo que respecta a la ingesta de esta ayuda ergogénica, fue importante tener en cuenta que su suplementación puede generar mayores problemas gastrointestinales, comprometiendo el rendimiento de forma negativa, que los propios beneficios que pueda aportar. Sin embargo, tal y como señalan autores como Carr y otros (2011) o Varovic y colaboradores (2023), si esta sustancia se ingiere junto a una comida rica en carbohidratos, puede optimizar la alcalosis sanguínea y reducir la incidencia de síntomas gastrointestinales. Por lo tanto, siguiendo las recomendaciones mencionadas por dichos autores, la bebida fue administrada junto con una comida que contenga carbohidratos en una cantidad equivalente a 1,25g CHO/kg de peso corporal.

En vista de lo anteriormente citado, fue crucial evaluar si los efectos que esta sustancia puede generar para favorecer el rendimiento en las carreras de Kilómetro Vertical, no estaban significativamente afectados por los posibles síntomas gastrointestinales que su suplementación puede provocar. Para ello, se llevó a cabo una evaluación que consistía en nueve Escalas Visuales Analógicas (EVA) en cuyos extremos se citaban las expresiones extremas de intensidad, ubicando en el límite izquierdo la intensidad más leve y en el derecho la mayor intensidad. En el caso de haber experimentado cualquier síntoma gastrointestinal, de los señalados a continuación, por parte del participante: náuseas, flatulencias, eructos, calambres estomacales, dolor de estómago, urgencia gastrointestinal, diarrea, vómitos y/o hinchazón del estómago, estos debían marcar con una línea vertical el punto exacto de intensidad la cual se asemeje a su síntoma percibido. Dicha intensidad fue calificada de 1 a 3 como leve, de 4 a 7 como moderado y de 8 a 10 como intenso.

Así pues, tanto el día de prueba preliminar como ambos días experimentales presentaron las siguientes características:

- **Prueba preliminar:** evaluación de si los participantes cumplían con los criterios de inclusión y exclusión, y recogida de datos sociodemográficos: peso, altura, IMC, edad, sexo, años de experiencia, frecuencia y carga de entrenamiento semanal y ayudas ergogénicas consumidas.

- **Día experimental 1 (Placebo):** **1)** Ingesta de una comida estandarizada (ver [Anexo I](#)) que contiene una cantidad de carbohidratos equivalente a 1,25g CHO/kg de peso corporal. **2)** Previo a la ingestión de la bebida, rellenar cuestionario que evalúa la tolerabilidad GI (ver [Anexo II](#)) y posteriormente proceder a la administración de una bebida placebo en un bidón opaco que contenga 500 ml de bebida isotónica Powerade Ice Storm con 0,045 g/kg de peso corporal de NaCl, 90 minutos antes de la prueba de KV. **3)** Justamente antes de iniciar con el calentamiento, volver a rellenar el mismo cuestionario que evalúa la tolerabilidad GI (ver [Anexo II](#)), y seguidamente, dar paso a la realización de un calentamiento estandarizado de 15 minutos de duración (ver [Anexo III](#)). **4)** Ejecutar prueba de KV siguiendo el recorrido previamente diseñado y marcado, llegando a la cumbre de Peña Negrilla en el menor tiempo posible. **5)** Tras la finalización del KV, registro del tiempo total de ejecución de la prueba cronometrado con reloj Garmin Fénix 6 pro y medición por parte del investigador de la RPE, utilizando la escala de Borg modificada, y los niveles de lactato en sangre, mediante el Lactate Scout 4 y las tiras reactivas compatibles con este modelo.

Para una comprensión visual del protocolo, consultar **Figura 5**, que representa la cronología del día; y [Anexo IV](#), que muestra la descripción del día a través de un esquema detallado.

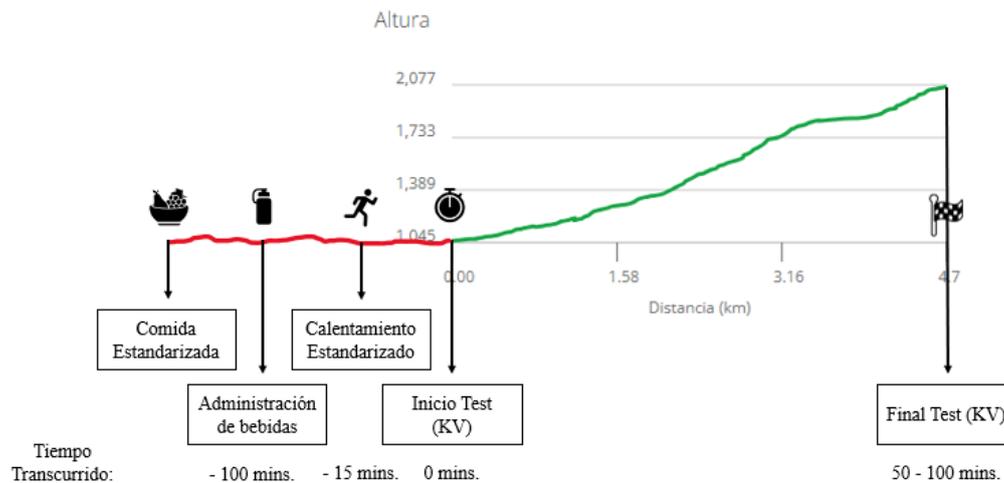
- **Día experimental 2 (Bicarbonato):** **1)** Ingesta de una comida estandarizada (ver [Anexo I](#)) que contiene una cantidad de carbohidratos equivalente a 1,25g CHO/kg de peso corporal. **2)** Previo a la ingestión de la bebida, rellenar cuestionario que evalúa la tolerabilidad GI (ver [Anexo II](#)) y posteriormente proceder a la administración de una bebida en un bidón opaco que contenga 500 ml de bebida isotónica Powerade Ice Storm con 0,3 g/kg de peso corporal de bicarbonato de sodio + 0,045 g/kg de peso corporal de NaCl, 90 minutos antes de la prueba de KV. **3)** Justamente antes de iniciar con el calentamiento, volver a rellenar el mismo cuestionario que evalúa la tolerabilidad GI (ver [Anexo II](#)), y seguidamente, dar paso a la realización de un calentamiento estandarizado de 15 minutos de duración (ver [Anexo III](#)). **4)** Ejecutar prueba de KV siguiendo el recorrido previamente diseñado y marcado, llegando a la cumbre de Peña Negrilla en el menor tiempo posible. **5)** Tras la finalización del KV, registro del tiempo total de ejecución de la prueba cronometrado con reloj Garmin Fénix 6 pro y medición por parte del investigador de la RPE, utilizando la escala de Borg modificada, y los

niveles de lactato en sangre, mediante el Lactate Scout 4 y las tiras reactivas compatibles con este modelo.

Para una comprensión visual del protocolo, consultar **Figura 5**, que representa la cronología del día; y **Anexo IV**, que muestra la descripción del día a través de un esquema detallado.

Figura 5

Cronología de las pruebas experimentales



Nota. Se representan las tareas a llevar a cabo por los participantes en los días experimentales, especificando también el momento en el cual deberá realizarse cada acción, tomando como punto de referencia inicial (0 minutos) el comienzo del KV. La línea verde se corresponde con el desnivel del KV de Peña Negrilla. KV = Kilómetro Vertical.

Previo a la ejecución de cada día experimental, las bebidas serán preparadas por personal investigador, dentro del laboratorio de Fisiología del Ejercicio del campus de Soria de la Universidad de Valladolid, en condiciones asépticas y utilizando material específico de un solo uso.

4.4. Medidas y Variables de Estudio

A continuación, se indicarán las variables que se analizaron en el siguiente estudio y el momento exacto en el que se registraron:

- Variables **principales**:
 - Tiempo total empleado en el recorrido del Kilómetro Vertical ⇒ Justamente al finalizar la prueba de Kilómetro Vertical, en la cumbre de Peña Negrilla.

- Percepción subjetiva del esfuerzo obtenida en el recorrido del Kilómetro Vertical mediante la Escala de Borg Modificada. ⇨ Justamente al finalizar la prueba de Kilómetro Vertical, en la cumbre de Peña Negrilla.
- Niveles de lactato en sangre tras la finalización del esfuerzo. ⇨ Justamente al finalizar la prueba de Kilómetro Vertical, en la cumbre de Peña Negrilla.
- Variables **secundarias**:
 - Molestias gastrointestinales producidas en los grupos experimentales. ⇨ **1º)** Previo a la administración de la bebida proporcionada por el investigador. **2º)** Justamente antes de iniciar el calentamiento. **3º)** Tras haber transcurrido los primeros dos minutos desde la finalización de la prueba de Kilómetro Vertical en la cumbre de Peña Negrilla.

4.5. Material

Una parte significativa del presente proyecto ha sido financiada por la Cátedra Caja Rural de Soria.

4.6. Tamaño de la Muestra

Con el objetivo de calcular el tamaño de la muestra a reclutar para el estudio y para detectar cambios significativos en el tiempo total de la prueba de un 5% (135 segundos), asumiendo un nivel de confianza del 95% y una potencia estadística del 80%, se necesitaron 12 participantes en total.

4.7. Análisis Estadístico

Con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas entre el día placebo y el día bicarbonato, se utilizó la prueba estadística t de Student para muestras relacionadas. Los datos se analizaron utilizando el programa *Statistical Package for the Social Sciences 22.0* (SPSS Inc., Chigado, IL, EE.UU) y los resultados se mostraron como media±desviación estándar, estableciéndose un valor de p para detectar diferencias significativas de 0,05.

5. Resultados

5.1. Datos Sociodemográficos y de Entrenamiento de la Muestra

En la prueba preliminar se registraron los siguientes datos sociodemográficos y de entrenamiento de cada uno de los participantes: peso, altura, IMC, edad, sexo, años de experiencia, frecuencia y carga de entrenamiento semanal y ayudas ergogénicas consumidas habitualmente.

La **Tabla 1** y **2** muestran estos datos reflejando de manera detallada las características de los sujetos que conforman la muestra definitiva.

Tabla 1

Variables descriptivas sociodemográficas de los participantes

N	Sexo	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	IMC (kg/m ²)
1	M	22	178	82	25,88
2	M	23	180	69	21,3
3	M	21	178	70	22,09
4	M	26	178	76	23,99
5	M	22	186	86	24,86
6	M	23	169	74	25,91
7	M	24	172	76	25,69
8	M	27	179	62	19,35
9	M	58	176	70	22,6
10	F	21	171	58	19,84
11	F	21	162	50	19,13
12	F	24	162	59	22,48
N = 12		24,9 ± 10,3	174,1 ± 7,3	68,6 ± 10,5	22,6 ± 2,5

Nota. La tabla indica los datos sociodemográficos de los 12 participantes que compusieron la muestra de la presente investigación. Los valores de la muestra total se presentan en medias ± desviación estándar. N = participantes, cm = centímetros; kg = kilogramos; IMC = índice de masa corporal; M = sujetos masculinos; F = sujetos femeninos.

Tabla 2*Variables de entrenamiento de los participantes*

N	Experie. Trail Running (años)	Frecuencia Entre. Sema. (días/semana)	Carga Entre. Sema. (km/semana)	Ayudas ergogénicas consumidas
1	4	4	50	Ninguna
2	5	6	80	Ninguna
3	3	6	60	CHO y cafeína
4	3	5	45	Ninguna
5	4	4	50	Ninguna
6	3	5	50	Cafeína
7	3	5	60	Geles
8	2	4	30	Ninguna
9	5	4	30	Geles y electrolitos
10	3	4	35	Cafeína
11	2	4	25	Creatina
12	2	5	40	Ninguna
N=12	3,1 ± 1,1	4,6 ± 0,8	43,9 ± 15,7	

Nota. La tabla indica los datos de entrenamiento y ayudas ergogénicas habitualmente consumidas de los 12 participantes que compusieron la muestra de la presente investigación. Los valores de la muestra total se presentan en medias ± desviación estándar. N = participantes; Experie. = experiencia; Entre. = entrenamiento; Sema. = semanal; M = sujetos masculinos; F = sujetos femeninos; CHO = carbohidratos.

5.2. Rendimiento en la Prueba de Kilómetro Vertical

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables analizadas en el estudio. La **Tabla 3** muestra los resultados de las variables principales evaluadas. Cabe mencionar que en ninguna de estas se obtuvieron diferencias significativas entre las condiciones de NaHCO₃ y placebo.

Tabla 3*Resultados de las variables analizadas*

	Placebo	Bicarbonato	Valor P
Tiempo total de prueba (seg.)	3100,9 ± 410,2	3116,9 ± 464,5	0,680
RPE (u.a.)	8,8 ± 1,1	8,7 ± 0,8	0,723
Niveles de lactato en sangre (mmol/L):			
Justamente tras finalizar la prueba	8,7 ± 1,9	9,8 ± 2,9	0,250

Nota. Los valores se presentan en medias ± desviación estándar. Seg. = segundos; RPE = Rango de Percepción del Esfuerzo; u.a.= unidades arbitrarias.

- **Tiempo total de la prueba:** El tiempo medio para completar la prueba de Kilómetro Vertical en el grupo placebo fue de 3100,9 ± 410,2 segundos, mientras que el grupo al que se le administró bicarbonato de sodio registró un promedio de 3116,9 ± 464,5 segundos. Al realizar el análisis estadístico utilizando la prueba t Student, se obtuvo un valor p de 0,680. Dado que este valor es superior a 0,05, podemos determinar que no se observaron diferencias significativa entre ambas condiciones.
- **Rango de Percepción del Esfuerzo (RPE):** Atendiendo a la Escala de Borg Modificada a través de la cual se midió el rango de esfuerzo percibido por cada uno de los participantes tras la finalización de la prueba, obtenemos un valor promedio de 8,8 u.a. para el grupo placebo y 8,7 u.a. para el grupo que ingirió bicarbonato de sodio. Al realizar el análisis estadístico utilizando la prueba t Student, se obtuvo un valor p de 0,730. Esto nos indica que, dado que este valor es superior a 0,05, no se observaron diferencias significativas entre ambas condiciones.
- **Niveles de lactato en sangre:** A pesar de haber obtenido mayores niveles de lactato en sangre justo al acabar la prueba de KV en la situación bicarbonato (9,8 ± 2,9 mmol/L), en comparación a la condición placebo (8,7 ± 1,9 mmol/L), estas diferencias no alcanzaron a ser significativas (P=0,25).

5.3. Malestar gastrointestinal: Incidencia y Severidad

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los cuestionarios que evaluaron el malestar gastrointestinal promedio padecido por los participantes en ambos días experimentales. La **Figura 6** muestra los síntomas GI previos a la administración de la bebida, la **Figura 7** los síntomas GI previos al calentamiento, y la **Figura 8** los síntomas GI tras finalizar la prueba del Kilómetro Vertical.

Cabe destacar que la severidad de los síntomas gastrointestinales no mostró diferencias significativas entre los grupos analizados (NaHCO_3 y placebo) en ninguno de los momentos donde se realizó la medición: previo a la administración de la bebida, antes al calentamiento y tras finalizar la prueba de Kilómetro Vertical.

Figura 6

Síntomas GI previos a la administración de la bebida

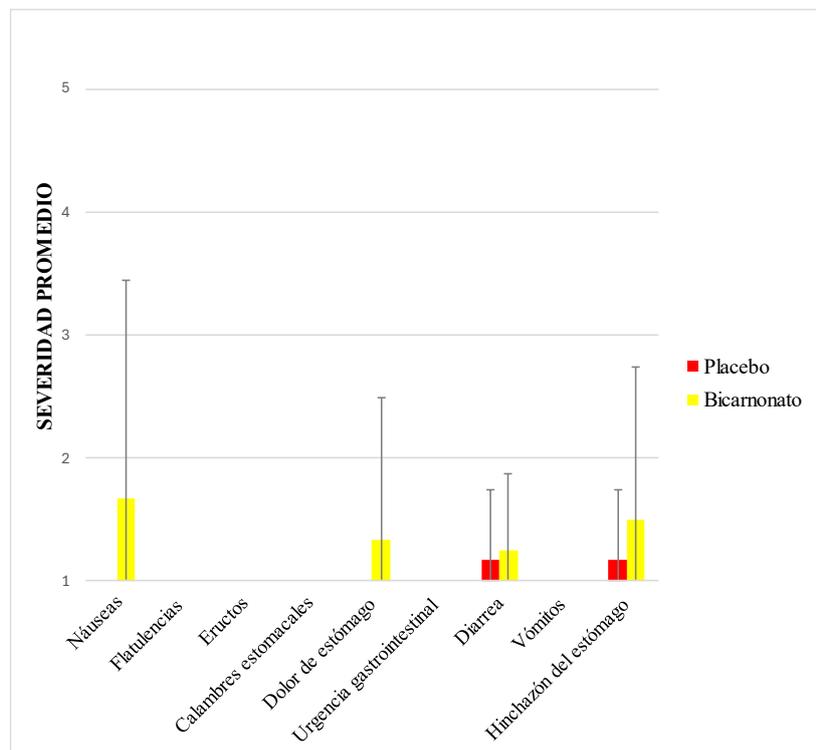


Figura 7

Síntomas GI previos al calentamiento

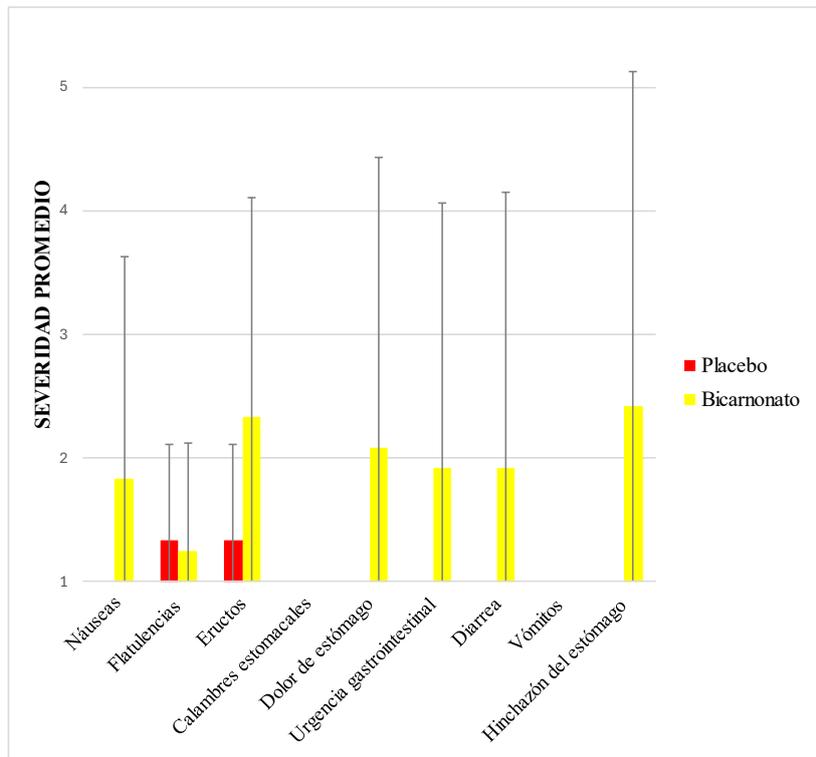
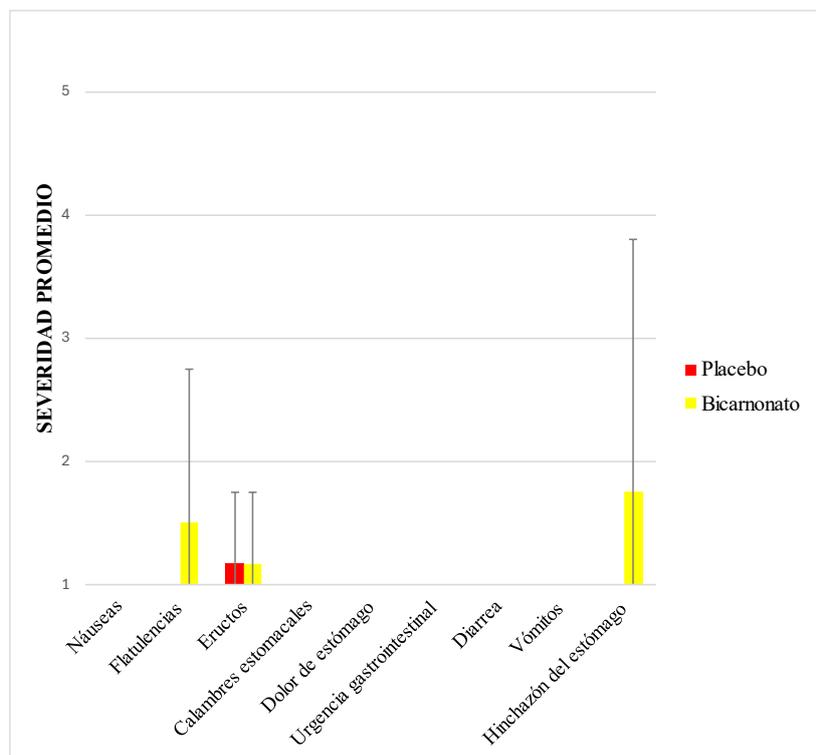


Figura 8

Síntomas GI tras finalizar el KV



6. Discusión

En los últimos años, se ha producido un notable crecimiento en la cantidad de evidencia que respalda la eficacia del bicarbonato de sodio como una ayuda ergogénica en esfuerzos de alta intensidad y corta duración. Numerosos estudios han demostrado que la ingesta de esta sustancia produce mejoras significativas en el rendimiento, particularmente en tareas cuya duración oscila entre 30 segundos y 12 minutos (Grgic et al., 2021; Lassen et al., 2021). Asimismo, también se ha identificado su potencial ergogénico en la resistencia muscular durante la ejecución de determinados ejercicios de fuerza, permitiendo realizar un mayor número de repeticiones (Grgic et al., 2020; Varovic et al., 2023).

El presente estudio es el primero en investigar los efectos de la suplementación con bicarbonato de sodio sobre el rendimiento específico en una carrera de KV. Los resultados obtenidos revelan que el bicarbonato de sodio no redujo el tiempo necesario para completar una prueba de KV, ni tampoco afecta a la percepción de fatiga y niveles de lactato en sangre.

Los beneficios que el bicarbonato de sodio produce, resultan de su capacidad para amortiguar la acidosis metabólica inducida por el ejercicio de alta intensidad (Duncan et al., 2014; Grgic et al., 2020). Por ello, dado que, en la prueba de KV la mayor parte del tiempo los corredores permanecen a una intensidad por encima del segundo umbral ventilatorio (Rodríguez-Marroyo et al., 2018), la acumulación de lactato y su eventual fatiga podrían ser mitigados como consecuencia de la suplementación con dicha ayuda ergogénica. La ingesta ayudaría a tamponar la acidosis generada por este tipo de ejercicio sostenido de alta intensidad, influyendo directamente sobre el rendimiento desarrollado en la prueba. Sin embargo, en la actualidad no existen estudios que analicen la eficacia del bicarbonato para este tipo de pruebas deportivas

Efectos del Bicarbonato de Sodio sobre el Rendimiento Específico en la Prueba de Kilómetro Vertical

En deportes de resistencia, el bicarbonato de sodio ha demostrado ser eficaz tanto en esfuerzos aeróbicos continuos y de alta intensidad (Egger et al., 2014; Mueller et al., 2013), como en esfuerzos intermitentes y de elevada intensidad (Marriott et al., 2015). Sin embargo, no existen estudios que hayan analizado los efectos de la ingesta con esta ayuda ergogénica en el rendimiento específico del KV.

En el presente estudio, el tiempo empleado para completar la prueba de KV no mostró diferencias significativas entre los grupos analizados (placebo: $3100,9 \pm 410,2$ segundos;

bicarbonato: $3116,9 \pm 464,5$ segundos). Una posible explicación que razone los resultados obtenidos podría atribuirse a que su duración excede con creces el intervalo de tiempo (30 segundos a 5 minutos) en el que se ha demostrado la mayor eficacia del bicarbonato de sodio (Grgic et al., 2021).

Por otro lado, al comparar estos resultados con diversos estudios que investigan los efectos del bicarbonato de sodio en ejercicios que presentan una duración mayor a 10 minutos, observamos que sigue la línea de aquellos en los que tampoco se obtuvieron resultados significativos (Afman et al., 2014; Tan et al., 2010).

Efectos del Bicarbonato de Sodio sobre la Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE)

El TR, a diferencia de otros deportes, impide que sus atletas rindan en base a la variable de la velocidad debido a la irregularidad del terreno en el que se practica. Por ello, para su práctica tener en cuenta variables como el pacing o ritmo de carrera será muy importante para el logro del máximo rendimiento en esta modalidad.

El pacing, se encuentra directamente influenciado por la percepción subjetiva del esfuerzo, ya que, valores elevados de RPE estarán asociados a una reducción de esta variable y, por el contrario, valores bajos de RPE se asociarán a aumentar el pacing. Esto será debido a que, al mismo tiempo, la RPE, se encuentra relacionada con la fatiga, la cual deriva de la acidosis metabólica.

Por ello, si el bicarbonato de sodio realizara de forma óptima su función como amortiguador de la acidosis metabólica, los valores en la percepción de la fatiga de los participantes que hubieran ingerido esta ayuda ergogénica, deberían presentar valores más bajos.

Sin embargo, en el estudio llevado a cabo, la RPE no mostró diferencias significativas entre los grupos analizados (Placebo: $8,8 \pm 1,1$ u.a., Bicarbonato: $8,7 \pm 0,8$ u.a.).

En base a ello, los resultados no coinciden con las afirmaciones mostradas en numerosas investigaciones (Cameron et al., 2010; Higgins et al., 2013), en las cuales se observa que la suplementación con esta ayuda ergogénica produce una reducción en la percepción del esfuerzo de sus participantes en una prueba de sprint repetida y una prueba de ejercicio incremental gradual.

La contrariedad en estos resultados puede ser atribuida principalmente a dos motivos. En primer lugar, como se ha descrito en el apartado anterior, la falta de efectividad del bicarbonato

de sodio pudo estar debida a la excesiva duración de la prueba de KV. Por ello, sujetamos el hecho de no haber disminuido la RPE de los participantes que han ingerido bicarbonato de sodio, a que éste no produjera el efecto esperado sobre el rendimiento. En segunda instancia, achacamos los resultados obtenidos al hecho de ser esta, una variable de medición muy subjetiva, donde factores externos como las condiciones climatológicas e incluso factores terrenales pueden afectar. Concretamente, realizando una comparación entre los días experimentales, estos dos factores presentaron características considerablemente diferentes. En uno de ellos las condiciones climatológicas fueron excesivamente adversas, resaltando una jornada con temperaturas excesivamente bajas y terreno mojado, mientras que, en el segundo día experimental, las temperaturas fueron considerablemente altas. Por ello, atendiendo a Helou y colaboradores (2012), determinamos que en ninguno de estos días las temperaturas se mantuvieron dentro del considerado rango óptimo (5°C - 15°C) para que no se viera afectado el rendimiento de los participantes e indirectamente en la forma de percibir la fatiga. Esta situación no pudo ser evitada ya que, uno de los requisitos obligatorios a cumplir del protocolo era realizar las pruebas en semanas consecutivas, es decir, con 7 días de diferencia entre una y otra (tiempo suficiente para eliminar cualquier efecto ergogénico) y con las mismas condiciones: misma hora del día, misma nutrición, mismo entrenamiento previo, etc. (Bishop & Claudius, 2005). Con ello, evitaríamos que los resultados se vieran afectados por la evolución en el rendimiento de los participantes entre una prueba y otra, además de por el ritmo circadiano.

Bien es cierto que, investigaciones como la de Duncan y colaboradores (2014), reafirman los resultados obtenidos en el presente estudio al tampoco identificar diferencias significativas en los valores de la percepción de esfuerzo percibido entre los grupos analizados.

Efectos del Bicarbonato de Sodio sobre las Concentraciones de Lactato en Sangre

La prueba de KV se caracteriza por permitir a sus participantes mantener durante prácticamente toda su ejecución una intensidad por encima del segundo umbral ventilatorio (Rodríguez-Marroyo et al., 2018), situado a 4 mmol/L de lactato (Fernández Rodríguez et al., 2019). Realizar ejercicio a esta intensidad puede llegar a producir acidosis metabólica debida a la excesiva acumulación de lactato e hidrogeniones en sangre. No obstante, esta acidosis metabólica puede contrarrestarse mediante el uso del bicarbonato de sodio como ayuda ergogénica. Su efecto amortiguador, permitirá acumular una mayor concentración de hidrogeniones y lactato en sangre retrasando la fatiga muscular.

En el presente estudio, inmediatamente después de completar la prueba de KV, se procedió a medir los niveles de lactato en sangre. A pesar de haber obtenido mayores niveles de lactato en sangre en la situación bicarbonato ($9,8 \pm 2,9$ mmol/L), en comparación a la condición placebo ($8,7 \pm 1,9$ mmol/L), las diferencias no resultaron ser significativas.

A diferencia de estudios previos donde tras la ingesta de bicarbonato de sodio la producción de lactato durante el ejercicio ha sido mayor para la condición de bicarbonato de sodio que de placebo (Bishop & Claudius, 2005), determinamos que los resultados obtenidos en la presente investigación no se corresponden.

Por otro lado, haber obtenido valores de lactato por encima de 4 mmol/L nos indica que la intensidad llevada a cabo por los participante durante la realización de la prueba de KV es máxima, coincidiendo con lo mostrado por Rodríguez-Marroyo y colaboradores (2018). Sin embargo, atendiendo a la evidencia científica, observamos que, al realizar un esfuerzo a máxima intensidad, este tendrá su pico de acidosis entre los 30 segundos y 5 minutos (Grgic et al., 2021). Dicho momento corresponderá también con el punto donde el bicarbonato produce su mayor potencial ergogénico (Grgic et al., 2021), permitiendo acumular una mayor concentración de lactato e hidrogeniones. En base a esto, sería necesario considerar que un posible factor causante de la discordancia entre los resultados puede ser la excesiva duración del esfuerzo, que ha hecho que la medición de los niveles de lactato haya sido realizada considerablemente más tarde del momento de máxima eficacia del bicarbonato de sodio.

Efectos del Bicarbonato de Sodio sobre las Molestias Gastrointestinales (GI)

La suplementación con bicarbonato de sodio, a diferencia de otras ayudas ergogénicas, produce un mayor número de efectos secundarios, de los cuales destacan: las náuseas, las flatulencias, los eructos, los calambres estomacales, el dolor de estómago, la urgencia gastrointestinal, la diarrea los vómitos y el hinchazón de estómago (Grgic et al., 2021). Por ello, será importante considerar las molestias GI como una variable analizar, más aún teniendo en cuenta que correr estresa más el tracto gastrointestinal que un deporte sin impacto.

Investigaciones como la de Cameron y otros (2010), reflejan la aparición de problemas GI significativos entre los participantes que consumieron NaHCO_3 , limitando sus posibles efectos en la mejora del rendimiento. Sin embargo, en el presente estudio, dicha suplementación no generó síntomas GI significativos en el grupo que ingirió bicarbonato de sodio en ninguno de los momentos analizados. La obtención de estos resultados coincide con lo señalado por Van

Montfoort y colaboradores (2004) en su estudio, donde las molestias GI tampoco fueron una variable relevante que pudiera afectar en los efectos del bicarbonato de sodio.

Que los grupos analizados en el presente este estudio no hayan sufrido molestias GI tras la ingesta de bicarbonato puede deberse a haber seguido las recomendaciones señaladas por Varovic y colaboradores (2023). Estos sugieren que realizar una suplementación con bicarbonato de sodio junto a una comida rica en carbohidratos (1,25 g CHO/kg de peso corporal) puede llegar a reducir la aparición de estos efectos secundarios.

7. Conclusiones

En el presente estudio de investigación se analizaron los efectos agudos de una ingesta oral de bicarbonato de sodio sobre el rendimiento específico en una prueba de Kilómetro Vertical en corredores de montaña. La principal conclusión del estudio es que el bicarbonato de sodio, utilizado de manera aguda como potencial ayuda ergogénica, no produce mejoras significativas en el rendimiento específico en la prueba de Kilómetro Vertical, al no haberse observado diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones experimentales.

Pese a que el Kilómetro Vertical es la prueba de menor duración de las que engloba el Trail Running, su duración sigue siendo excesivamente prolongada. Esto, podría explicar la falta de eficacia del bicarbonato de sodio, ya que sus efectos ergogénicos son más evidentes en esfuerzos de menor duración.

Igualmente, los resultados obtenidos demuestran que la suplementación con bicarbonato de sodio tampoco produjo beneficios sobre indicadores de carga interna como la percepción subjetiva del esfuerzo y los niveles de lactato.

La carencia de diferencias significativas entre las condiciones analizadas, en la percepción subjetiva del esfuerzo, pueden atribuirse tanto a la falta de efecto ergogénico del bicarbonato de sodio, como a factores externos, tales como las condiciones climatológicas y factores terrenales.

La ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de lactato en sangre entre los grupos, se han relacionado con la excesiva duración de la prueba, haciendo que sus mediciones se realizaran de forma tardía y no en el momento donde el bicarbonato de sodio tiene su mayor potencial ergogénico.

Por otro lado, se ha demostrado que la administración de bicarbonato de sodio no provocó síntomas gastrointestinales significativos entre los grupos analizados. Por ello, concluimos que, aunque no se hayan demostrado mejoras sobre el rendimiento de la prueba de Kilómetro Vertical, su ingesta no causó molestias gastrointestinales que pudieran comprometer su viabilidad como ayuda ergogénica.

8. Limitaciones de Estudio

El presente estudio ha permitido obtener conocimientos acerca del impacto de la suplementación con bicarbonato de sodio en pruebas de Kilómetro Vertical. Sin embargo, es fundamental reconocer ciertas limitaciones que pueden haber influido en los resultados obtenidos y que deben ser consideradas en investigaciones futuras.

En primer lugar, el reducido número de sujetos y la heterogeneidad de la muestra constituyen limitaciones significativas. Aunque fueran participantes correctamente entrenados y contaran con una amplia experiencia en el Trail running, la variabilidad en sus niveles de condición física puede haber afectado a los resultados.

Igualmente, la gran variación de las condiciones climatológicas entre ambos días experimentales representa otra limitación considerable. Estos cambios pudieron haber afectado tanto en el rendimiento físico como en la percepción del esfuerzo. Por tanto, considerar la época del año en la que se realiza el estudio será una pieza clave en futuras investigaciones.

9. Futuras Líneas de Investigación

Es evidente la necesidad de abordar las limitaciones identificadas en el presente estudio y considerar la introducción de nuevos elementos para mejorar la calidad y la relevancia de futuras investigaciones. Para ello, se plantean una serie de propuestas que permitirán avanzar en el estudio de los efectos del bicarbonato de sodio en el rendimiento deportivo.

En primer lugar, realizar investigaciones aumentando el número de la muestra y lograr una mayor homogeneidad en la selección de los participante resultará clave. La inclusión de un mayor número de participantes, o la focalización exclusiva en atletas de élite, podría ofrecer resultados más consistentes y representativos.

Otra área de interés es la evaluación de la eficacia del enmascaramiento para excluir el efecto placebo. Verificar que los resultados no se ven afectados por la percepción subjetiva de los participantes acerca de la suplementación es crucial comprobar la veracidad de los efectos observados.

Explorar distintos modos de administración de esta ayuda ergogénica puede resultar también una vía prometedora. Investigar los efectos de dosis más elevadas de bicarbonato de sodio, así como la suplementación crónica, podría aportar información valiosa sobre la optimización de esta sustancia. Además, se sugiere analizar esfuerzos de menor duración o de tipo intermitente con duraciones más extendidas que las estudiadas en la actualidad, lo que permitiría ampliar el conocimiento sobre la eficacia del bicarbonato de sodio en una variedad de contextos deportivos.

Finalmente, subrayar la necesidad de realizar investigaciones que comparen los efectos de la suplementación con bicarbonato de sodio entre sexos podría resultar muy beneficioso en futuros estudios. Dado que las respuestas fisiológicas al ejercicio y a la suplementación ergogénica pueden variar entre hombres y mujeres, una investigación donde se realice un análisis comparativo podría proporcionar una comprensión más profunda y precisa de los efectos de esta ayuda ergogénica.

10. Referencias Bibliográficas

- Afman, G., Garside, R. M., Dinan, N., Gant, N., Betts, J. A., & Williams, C. (2014). Effect of carbohydrate or sodium bicarbonate ingestion on performance during a validated basketball simulation test. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(6), 632-644. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0168>
- Australian Institute of Sport (AIS) (2022). Supplements and sports foods in high performance sport. AIS Sport Supplement Framework (Internet). Recuperado el 4 de Junio de 2024, de: https://www.ais.gov.au/_data/assets/pdf_file/0014/1000841/Position-Statement-Supplements-and-Sports-Foods.pdf
- Australian Institute of Sport (AIS) (2021). AIS Sports Supplement Framework: Glycerol. 2021 Recuperado el 4 de Junio de 2024, en: https://www.ais.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/1014185/Glycerol-Infographic.pdf
- Blanchfield, A. W., Hardy, J., De Morree, H. M., Staiano, W., & Marcora, S. M. (2014). Talking yourself out of exhaustion: The effects of self-talk on endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5), 998-1007. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000184>
- Bishop, D., & Claudius, B. (2005). Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 759-767. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000161803.44656.3c>
- Carr, A. J., Slater, G. J., Gore, C. J., Dawson, B., & Burke, L. M. (2011). Effect of sodium bicarbonate on [HCO₃⁻], pH, and gastrointestinal symptoms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(3), 189-194. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.3.189>
- Cameron, S. L., McLay-Cooke, R. T., Brown, R. C., Gray, A. R., & Fairbairn, K. A. (2010).

- Increased blood pH but not performance with sodium bicarbonate supplementation in elite rugby union players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(4), 307-321. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.20.4.307>
- Deb, S. K., Gough, L. A., Sparks, S. A., & McNaughton, L. R. (2018). Sodium bicarbonate supplementation improves severe-intensity intermittent exercise under moderate acute hypoxic conditions. *European Journal of Applied Physiology*, 118(3), 607-615. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3801-7>
- Domínguez, R., Maté-Muñoz, J. L., Cuenca, E., García-Fernández, P., Mata-Ordoñez, F., Lozano-Estevan, M. C., Veiga-Herreros, P., da Silva, S. F., & Garnacho-Castaño, M. V. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15, 2. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0204-9>
- Duncan, M. J., Weldon, A., & Price, M. J. (2014). The effect of sodium bicarbonate ingestion on back squat and bench press exercise to failure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1358-1366. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000277>
- Egger, F., Meyer, T., Such, U., & Hecksteden, A. (2014). Effects of Sodium Bicarbonate on High-Intensity Endurance Performance in Cyclists: A Double-Blind, Randomized Cross-Over Trial. *PloS One*, 9(12), e114729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114729>
- Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J.-B., & Vercauysen, F. (2018). Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(3), 580-588. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001467>
- Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) (2023). Reglamento de competiciones de Carreras por Montaña 2024. Recuperado el 20 de Mayo de 2024, de

<https://fedme.es/wp-content/uploads/2023/12/4.-Reglamento-CxM-2024-aprobado-por-CD-1-Diciembre-2023.pdf>

- Fernández Rodríguez, E., Romero Ramos, Ó., Merino Marbán, R., & Cañas del Palacio, A. (2019). Umbral Anaeróbico: Problemas conceptuales y aplicaciones prácticas en deportes de resistencia. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 36, 521-528.
- Ferrero, J. A., y Fernández, A. (2001). Consumo de oxígeno: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. En J. López Chicharro, y A. Fernández Vaquero (Eds.), *Fisiología del ejercicio* (pp. 247-257). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Foissac, M. J., Berthollet, R., Seux, J., Belli, A., & Millet, G. Y. (2008). Effects of hiking pole inertia on energy and muscular costs during uphill walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1117-1125. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318167228a>
- Giovanelli, N., Ortiz, A. L. R., Henninger, K., & Kram, R. (2016). Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 120(3), 370-375. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00546.2015>
- Grgic, J., Pedisic, Z., Saunders, B., Artioli, G. G., Schoenfeld, B. J., McKenna, M. J., Bishop, D. J., Kreider, R. B., Stout, J. R., Kalman, D. S., Arent, S. M., VanDusseldorp, T. A., Lopez, H. L., Ziegenfuss, T. N., Burke, L. M., Antonio, J., & Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition position stand: Sodium bicarbonate and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00458-w>
- Grgic, J., Rodriguez, R. F., Garofolini, A., Saunders, B., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Effects of Sodium Bicarbonate Supplementation on Muscular Strength and Endurance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*

- (Auckland, N.Z.), 50(7), 1361-1375. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01275-y>
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: Caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Higgins, M. F., James, R. S., & Price, M. J. (2013). The effects of sodium bicarbonate (NaHCO₃) ingestion on high intensity cycling capacity. *Journal of Sports Sciences*, 31(9), 972-981. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.758868>
- Jiménez-Alfageme, R., Álvarez, J., Garbisu-Hualde, A., Romero-García, D., Giménez-Monzó, D., Sospedra, I., Ausó, E., & Martínez-Sanz, J. M. (2024). Are the Dietary-Nutritional Recommendations Met? Analysis of Intake in Endurance Competitions. *Nutrients*, 16(2), 189. <https://doi.org/10.3390/nu16020189>
- Jornet, K., & Durand, F. (2013). *Fisiología de los deportes de resistencia en la montaña* (2015.^a ed.). Lectio. <https://www.libreriadesnivel.com/libros/fisiologia-de-los-deportes-de-resistencia-en-la-montana/9788415088820/>
- Kreider, R. B., Kalman, D. S., Antonio, J., Ziegenfuss, T. N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D. G., Kleiner, S. M., Almada, A. L., & Lopez, H. L. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: Safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 18. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0173-z>
- Lassen, T. A. H., Lindstrøm, L., Lønbro, S., & Madsen, K. (2021). Increased Performance in Elite Runners Following Individualized Timing of Sodium Bicarbonate Supplementation. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 31(6), 453-459. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0352>

- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., Mang'eni, R. O., & Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, *463*(7280), 531-535. <https://doi.org/10.1038/nature08723>
- Marriott, M., Krstrup, P., & Mohr, M. (2015). Ergogenic effects of caffeine and sodium bicarbonate supplementation on intermittent exercise performance preceded by intense arm cranking exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *12*(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0075-x>
- Mueller, S. M., Gehrig, S. M., Frese, S., Wagner, C. A., Boutellier, U., & Toigo, M. (2013). Multiday acute sodium bicarbonate intake improves endurance capacity and reduces acidosis in men. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *10*(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-16>
- Ogueta-Alday, A., & García López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, *12*(45), 278-308.
- Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., & Villa, J. G. (2018). Physiological Demands of Mountain Running Races. *Kinesiology*, *50*(1), Article 1.
- Sasaki, K., & Neptune, R. R. (2006). Muscle mechanical work and elastic energy utilization during walking and running near the preferred gait transition speed. *Gait & Posture*, *23*(3), 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.002>
- Saugy, J., Place, N., Millet, G. Y., Degache, F., Schena, F., & Millet, G. P. (2013). Alterations of Neuromuscular Function after the World's Most Challenging Mountain Ultra-Marathon. *PloS One*, *8*(6), e65596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065596>
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *34*(7), 465-485. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>

- Seguí Urbaneja, J., & Farías Torbidoni, E. I. (2018). El trail running (carreras de o por montaña) en España. Inicios, evolución y (actual) estado de la situación. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 33, 123-128.
- Tan, F., Polglaze, T., Cox, G., Dawson, B., Mujika, I., & Clark, S. (2010). Effects of induced alkalosis on simulated match performance in elite female water polo players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(3), 198-205. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.20.3.198>
- Tiller, N. B., Roberts, J. D., Beasley, L., Chapman, S., Pinto, J. M., Smith, L., Wiffin, M., Russell, M., Sparks, S. A., Duckworth, L., O'Hara, J., Sutton, L., Antonio, J., Willoughby, D. S., Tarpey, M. D., Smith-Ryan, A. E., Ormsbee, M. J., Astorino, T. A., Kreider, R. B., McGinnis, G.R., Stout, J.R., Smith, J.W., Arent, S.M., Campbell, B.I., Bannock, L. (2019). International Society of Sports Nutrition Position Stand: Nutritional considerations for single-stage ultra-marathon training and racing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0312-9>
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Wilborn, C. D., Sale, C., Kreider, R. B., Jäger, R., Earnest, C. P., Bannock, L., Campbell, B., Kalman, D., Ziegenfuss, T. N., & Antonio, J. (2015). International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12, 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0090-y>
- Van Montfoort, M. C. E., Van Dieren, L., Hopkins, W. G., & Shearman, J. P. (2004). Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1239-1243. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000132378.73975.25>
- Varovic, D., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., & Vuk, S. (2023). Ergogenic Effects of Sodium

Bicarbonate on Resistance Exercise: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(8), 1600. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004443>

Vernillo, G., Giandolini, M., Edwards, W. B., Morin, J.-B., Samozino, P., Horvais, N., & Millet, G. Y. (2017). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(4), 615-629. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0605-y>

Zubieta, M., Garcia Tabar, I., Castillo Alvira, D., Raya González, J., Iturricastillo Urteaga, A., Aritzeta, I., Alvarez, K., & Yanci Irigoyen, J. (2021). Análisis y asociación entre las características antropométricas, somatotipo y capacidad cardiovascular en corredores de montaña de categoría amateur: Un estudio piloto. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 38(205 (Septiembre / Octubre)), 319-326.

11. Anexos

Anexo I

Ejemplo de comida estandarizada

Tomando como referencia las indicaciones proporcionadas por el autor Varovic y colaboradores (2023), los cuales mencionan la necesidad de ingerir una cantidad de 1,25g HC/kg de peso corporal para así reducir los síntomas gastrointestinales que puede provocar la ingesta de Bicarbonato de Sodio, a continuación se presentarán un ejemplo de desayuno y otro de comida para que los y las participantes tengan a disposición de utilización en función del horario asignado para la realización de la prueba experimental (mañana o tarde):

- **DESAYUNO:**

- 1 vaso (250 ml) de Zumo de Naranja → 24,75g HC.
- 1 Plátano → 23g HC.
- 1 Yogur Natural → 4,1g HC.
- 2 cucharaditas de Miel → 9,36g HC.
- Avena (cada sujeto la cantidad correspondiente a su peso corporal sabiendo que, cada 100g de avena nos aporta 59g HC). Ejemplo: Sujeto que pesa 73 kg, necesitaría consumir en su desayuno $73 \times 1,25 = 91,25$ g HC. Teniendo en cuenta el resto de alimentos a consumir en el desayuno: 250ml de zumo de naranja (24,75g HC) + 1 plátano (23g HC) + 1 yogur natural (4,1g HC) + 2 cucharaditas de miel (9,36g HC) = 61,21g HC, nos indica que nos quedarían por adquirir: $91,25 - 61,21 = 30,04$ g HC. Por tanto, la cantidad (g) de avena que este sujeto debería consumir sería la siguiente: $(30,04 \times 100) / 59 = 50,91$ g de Avena.

- **COMIDA:**

- 100g de Arroz → 79g HC.
- 1 Plátano → 23g HC.
- 1 Yogur Natural → 4,1g HC.

Anexo II

Evaluación de la Tolerabilidad Gastrointestinal

El presente cuestionario trata de recoger información sobre cualquier síntoma gastrointestinal que el/la participante ha podido experimentar desde justamente antes de producirse la ingesta de la bebida proporcionada por el investigador hasta los dos minutos posteriores a dar por finalizada la subida del Kilómetro Vertical (KV).

Nombre y Apellidos del/la participante:

1. ¿Ha experimentado algún síntoma gastrointestinal inusual? SI / NO
2. En caso de haber respondido afirmativamente a la pregunta anterior, podría especificar, dentro de las posibilidades que se muestran a continuación, ¿cuáles han sido estos síntomas señalando la casilla correspondiente?

	DOLOR									
	Leve			Moderado				Intenso		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Náuseas										
<input type="checkbox"/> Flatulencias										
<input type="checkbox"/> Eructos										
<input type="checkbox"/> Calambres estomacales										
<input type="checkbox"/> Dolor de estómago										
<input type="checkbox"/> Urgencia gastrointestinal										
<input type="checkbox"/> Diarrea										
<input type="checkbox"/> Vómitos										
<input type="checkbox"/> Hinchazón del estómago										

* En caso de señalar una casilla, califique del 1 (ningún síntoma / poco dolor) al 10 (síntoma muy severo / dolor muy fuerte) la gravedad del síntoma realizando una marca vertical según su percepción.

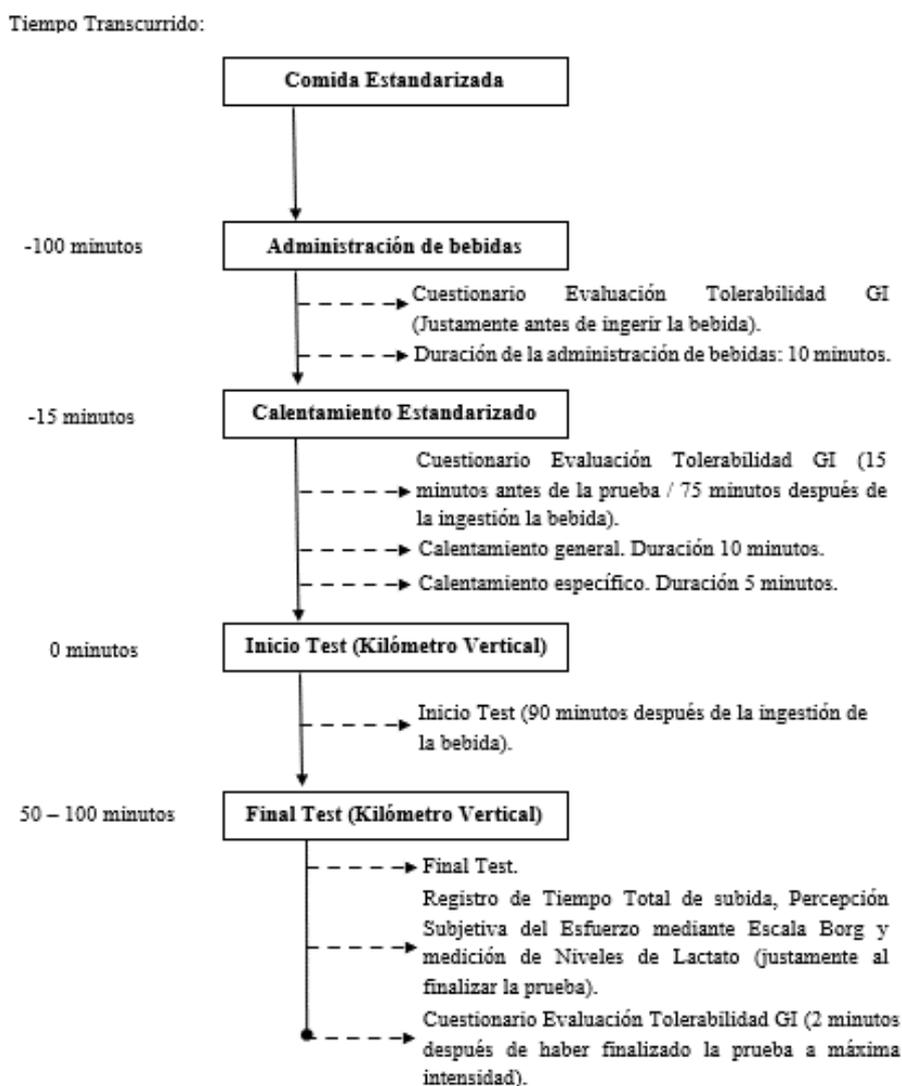
Anexo III

Calentamiento estandarizado

- **CALENTAMIENTO GENERAL: (10 minutos)**
 1. 6 minutos → Carrera continua por terreno llano a baja intensidad.
 2. 4 minutos → Movilidad Articular de forma dinámica y Ejercicios de Técnica de Carrera (Skipping, Talones al glúteo, Mogemburiano, Circunducciones de brazos, Carrera lateral, Impulsiones con una y ambas piernas, etc.).
- **CALENTAMIENTO ESPECÍFICO: (5 minutos)**
 1. En terreno ascendente y de montaña, ejecución de los siguientes ejercicios: 1 subida de 50 metros andando a intensidad media, 1 subida de 50 metros andando a intensidad alta, 1 subida de 100 metros corriendo a intensidad media, 2 subidas de 100 metros corriendo en progresión (de menor a mayor intensidad). * La recuperación de todas ellas se realizará mientras se baja andado al punto de partida.

Anexo IV

Esquema general del protocolo de las pruebas experimentales



Nota. El esquema muestra de forma detallada el protocolo que deberá llevarse a cabo durante los días experimentales, especificando también el momento en el cual deberá realizarse cada acción, tomando como punto de referencia inicial (0 minutos) el comienzo del test. Atendiendo a Deb y colaboradores (2018) se solicitó que la administración de bebidas se realizara en un margen de 10 minutos ya que estos autores señalan que así se producirá una absorción óptima.