

TRABAJO FIN DE GRADO



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

**EFECTOS DEL BICARBONATO
SÓDICO SOBRE EL
RENDIMIENTO DEL
SEGMENTO DE LA NATACIÓN
EN TRIATLÓN: UN ESTUDIO
CONTROLADO
ALEATORIZADO CRUZADO**

Autor: SERGIO CORREA MONTESINOS

Tutor: MIGUEL RAMÍREZ JIMÉNEZ

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Curso académico: 2024-2025

En Soria, a 19 de junio 2025

RESUMEN

Objetivo: el presente trabajo final de grado tuvo como objetivo evaluar los efectos del bicarbonato sódico (BS) sobre el rendimiento en natación, la sensación de esfuerzo percibido (RPE) y la manifestación de efectos adversos en triatletas federados jóvenes. **Método:** el diseño experimental se fundamentó en un estudio cruzado, aleatorizado, de un solo ciego y controlado con placebo, con la participación de ocho triatletas que realizaron una prueba de 400 metros de natación estilo libre bajo una condición de BS (0,3g/kg) y otra con placebo (NaCl, 0,3 g/kg). **Resultados:** se obtuvieron unos tiempos finales (segundos) de $307,1 \pm 24,8$ y $308,6 \pm 24,2$, bajo las condiciones de BS y placebo, respectivamente. El valor p fue de 0.393, por lo que no se mostraron mejoras significativas sobre el rendimiento tras ingerir BS. No obstante, para la variable de RPE se observaron valores de $9.0 \pm 0,5$ para la condición de BS y $7,6 \pm 0,5$ para la de placebo (unidades arbitrarias, u. a). Se obtuvo una diferencia significativa, siendo el valor $p = 0.012$. Así mismo, hubo una mayor incidencia de síntomas gastrointestinales como eructos y dolor de estómago, que evidenciaron una mayor severidad bajo la condición de BS ($p < 0,05$). Aunque, no se observaron diferencias significativas, la frecuencia de estos síntomas tuvieron mayor repunte de casos bajo la ingesta de BS. **Conclusión:** la ingesta aguda de BS no aumentó el rendimiento de natación en triatletas federados jóvenes. Sin embargo, el BS redujo la percepción del esfuerzo durante la prueba, sugiriendo que los triatletas podrían tolerar mayores cargas de trabajo durante el entrenamiento y/o la competición.

PALABRAS CLAVES

Ayudas ergogénicas; Bicarbonato sódico; Esfuerzo percibido; Rendimiento deportivo; Triatlón.

ABSTRACT

Objective: In the present bachelor's thesis aimed to evaluate the effects on performance, Rate of Perceived Exertion (RPE) and adverse effects after intake of sodium bicarbonate (SB) in young, federated triathletes. **Method:** the experimental design was based on a randomized, single blind, placebo-controlled cross-study involving eight triathletes who performed a 400-meter freestyle swim test under SB (0.3g/kg) and placebo (NaCl, 0.3g/kg) conditions. **Results:** final times (seconds) of 308.6 ± 24.2 and 307.1 ± 24.8 were obtained under SB and placebo conditions, respectively. The p-value was 0.393, so no significant improvements in performance were shown after SB. However, for the RPE variable values of 9 ± 0.5 were obtained for the SB condition and 7.6 ± 0.5 for the placebo (arbitrary units, a. u). A significant difference was obtained, with the value $p = 0.012$. Also, gastrointestinal symptoms such as burping, and stomach pain showed greater severity under SB conditions ($p < 0,05$). Although no significant difference was observed, the frequency of these symptoms had a greater case spike under bicarbonate intake. **Conclusion:** acute intake of SB did not increase swimming performance in young, federated triathletes. However, the SB reduced the RPE during training and/or competition.

KEYWORDS

Ergogenic aids, Rate of Perceived Exertion, Sodium bicarbonate, Sports performance, Triathlon.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	6
2.	Marco teórico.....	8
2.1	El triatlón	8
2.2	Factores fisiológicos y de rendimiento en la distancia Super sprint	9
2.2.1	Consumo de Oxígeno Máximo (VO_2 máx.)	9
2.2.2	Umbral Anaeróbico (UAN)	9
2.2.3	Capacidad Anaeróbica Láctica	9
2.2.4	Economía del movimiento	10
2.3	Ayudas ergogénicas en el deporte	10
2.4	Bicarbonato sódico como ayuda ergogénica sobre el rendimiento de resistencia	11
2.4.1	Efectos sobre el VO_2 máx.	11
2.4.2	Efectos sobre el UAN o Potencia Crítica	12
2.4.3	Efectos sobre la capacidad anaeróbica láctica	12
2.5	El bicarbonato sódico como ayuda ergogénica en el segmento de natación en triatlón	12
2.6	Justificación del estudio	13
3.	Objetivos e Hipótesis.....	14
3.1	Objetivo general	14
3.2	Objetivos específicos	14
3.3	Hipótesis	14
4.	Método.....	15
4.1	Contextualización y diseño experimental.....	15
4.2	Selección de los participantes	15
4.3	Procedimientos	16
4.3.1	Entorno y cronograma del estudio	16
4.3.2	Protocolo de suplementación	16
4.3.3	Protocolo de la prueba	16
4.3.4	Registro de datos y esfuerzo percibido	18
4.4	Materiales.....	19
4.5	Análisis estadístico	19
5.	Resultados	21
5.1	Participantes	21
5.2	Resultados	22
5.2.1	Efectos sobre el tiempo en 400m	22
5.2.2	Percepción del esfuerzo (RPE)	23

5.2.3 <i>Efectos adversos</i>	23
6. Discusión	26
7. Conclusiones	29
8. Aplicaciones prácticas	30
9. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación	31
10. Referencias bibliográficas	33
11. Anexos	39

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Distancias de triatlón según la ITU.....	8
Tabla 2. Ayudas ergogénicas.....	10
Tabla 3. Perfil de los triatletas	21
Tabla 4. Resultados descriptivos del tiempo y RPE	22
Figura 1. Protocolo de la prueba.....	18
Figura 2. Efectos de cada condición experimental sobre el rendimiento en natación sobre 400m	22
Figura 3. Efectos de cada condición experimental sobre sensación de esfuerzo en natación sobre 400m	23
Figura 4. Severidad de los síntomas	24
Figura 5. Frecuencia de los síntomas.....	25

1. Introducción

Conseguir una mejora del rendimiento deportivo ha sido uno de los principales objetivos del deporte a lo largo de la historia. Con el paso del tiempo, se han ido investigando diversas estrategias para aumentar dicho rendimiento como son los cambios en los métodos de entrenamiento, la nutrición, el descanso y la suplementación ergogénica. En el contexto de la suplementación, el uso del bicarbonato sódico (BS) adquiere una importancia en el deporte debido a su capacidad de regular el equilibrio ácido-base del organismo.

La ayuda ergogénica como es el BS actúa como un agente alcalinizante a nivel extracelular, cuya acción principal es evitar la caída del pH generada por el aumento de concentración de hidrogeniones, al realizar ejercicios anaeróbicos de alta intensidad (Requena et al., 2005). Este efecto puede provocar un retraso de la fatiga muscular, pudiendo conseguir una mejora en el rendimiento de pruebas con una duración corta y una exigencia alta. Diversos estudios han concluido que el BS tiene efectos positivos sobre el rendimiento en modalidades deportivas como los deportes de combate, de resistencia, natación y remo de alta intensidad (Grgic et al., 2021). El efecto del bicarbonato tiene aplicación en esfuerzos supra-máximos con una duración de 1 a 7 minutos, momento en el que la producción de energía se lleva a cabo a través de la glucólisis anaeróbica (Carr, Hopkins, et al., 2011).

No obstante, a pesar de los efectos positivos por el uso del bicarbonato, existen limitaciones de este suplemento como los efectos adversos gastrointestinales (náuseas, hinchazón abdominal, flatulencias o diarrea). Estos efectos secundarios pueden afectar de manera negativa el rendimiento deportivo, aunque, estos efectos pueden variar según los individuos, la dosis y forma de consumo y el momento de la ingesta (Grgic et al., 2021).

Como consecuencia de los efectos opuestos que presenta el bicarbonato, se convierte en un tema de especial interés para estudiar en el ámbito del deporte federado. En concreto en la disciplina del triatlón, en la que el segmento de natación presenta esfuerzos explosivos de corta duración donde se produce una acumulación de fatiga.

En este contexto, los estudios relacionados con los triatletas federados en población juvenil son limitados, aunque sean atletas que presenten cargas de entrenamiento altas y tengan una participación en competiciones a nivel regional y nacional. Así pues, realizar una investigación para observar cómo responden este perfil de deportistas a la ingesta de BS, puede proporcionar información relevante para llevar a cabo diseños de estrategias de suplementación en el ámbito de entrenamiento o competitivo.

Además de tener en cuenta la variable del tiempo, resulta fundamental considerar la medida subjetiva como el esfuerzo percibido (RPE), que supone un indicador de estrés fisiológico en los deportistas (Borg, 1998). Esto permitirá evaluar el impacto que tiene la ingesta en el rendimiento.

De la misma manera, es necesario tener presente la severidad y frecuencia de los síntomas gastrointestinales, y así evaluar la tolerabilidad del deportista ante el BS. De este modo, se podrá implementar estrategias en condiciones de entrenamiento o de competición.

Así pues, en el presente trabajo el objetivo será evaluar los efectos ocasionados por la ingesta BS en una prueba de natación de 400 metros en triatletas, analizando el tiempo empleado para ello, la percepción del esfuerzo y la tolerancia gastrointestinal. De esta manera, se incrementa el conocimiento científico y aportando pautas prácticas para su uso en el contexto deportivo.

2. Marco teórico

2.1 El triatlón

El triatlón es una disciplina individual que combina tres deportes totalmente diferentes, natación, ciclismo y carrera a pie. Desde que se produce la salida, iniciándose con el tramo de la natación hasta la llegada del deportista a meta, es decir con la carrera a pie pasando por el tramo de la bicicleta, el cronómetro no se detiene, e incluso, durante el cambio de una disciplina a otra, momento que recibe el nombre de transición (Cejuela et al., 2007).

Aunque se esté hablando de un deporte relativamente joven (su primer debut Olímpico tuvo lugar en Sídney 2000) desde sus primeros comienzos se han establecido en los reglamentos una gran variedad de distancias, desde el super sprint hasta el Ironman.

Tabla 1.

Distancias de triatlón según la ITU.

	Natación	Ciclismo	Carrera
Super sprint	400 M	10 Km	2,5 Km
Sprint	750 M	20 Km	5 Km
Olímpico	1500 M	40 Km	10 Km
Half	1900 M	90 Km	21,097 Km
Ironman*	3800 M	180 Km	42,195 Km

Nota. M: Metros; Km: Kilómetros; ITU: International Triathlon Union; *distancia en excepción, que no está especificada por la ITU

La distancia Super sprint, es la más corta, que consta generalmente de 400 metros de natación, 10 km de ciclismo y 2,5 km de carrera. Esta distancia está caracterizada por esfuerzos casi máximos en cada uno de los segmentos (Bentley et al., 2002).

En particular, los 400 metros del segmento de agua, se completan a un ritmo superior al habitual en los triatlones de mayor distancia. Así pues, durante este segmento existe una mayor participación del metabolismo anaeróbico láctico, en concreto en aquellos triatletas que intentan conseguir una ventaja desde la primera transición (T1).

Cabe destacar que, conseguir una mejora del rendimiento durante este segmento supone que los deportistas puedan disponer de ciertas ventajas tácticas, ya que es sumamente importante, en el triatlón, salir del agua entre los primeros. Esto puede dar lugar a que el deportista obtenga una mejor posición en el pelotón ya que en esta modalidad, según el reglamento, el drafting ciclista está permitido, y como consecuencia, una reducción del gasto energético de manera considerable.

2.2 Factores fisiológicos y de rendimiento en la distancia Super sprint

Actualmente, apenas existe literatura científica en relación con la distancia super sprint. Esta modalidad tiene un menor índice de investigación en comparación con otras distancias como son el caso de la del sprint, olímpico o Ironman. La distancia super sprint tiene una similitud a la del sprint, en cuanto a las demandas fisiológicas, al perfil del esfuerzo, estructura de la competición y el tiempo de duración. Así pues, se tomará en cuenta los factores de rendimiento y fisiológicos de la distancia sprint, intentándolos aproximar a la distancia super sprint, pero tomando en consideración, una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico e importancia de transiciones más rápidas.

2.2.1 Consumo de Oxígeno Máximo (VO_2 máx.)

El consumo de oxígeno máximo es la cantidad máxima de oxígeno que un sujeto puede adquirir y utilizar durante un ejercicio intenso (Buttar et al., 2019). Es un factor de gran importancia que le permite al atleta sostener esfuerzos aeróbicos intensos. Los triatletas pertenecientes a la élite pueden llegar a conseguir valores superiores a 70ml/kg/min, lo que supone una fuerte vinculación con el rendimiento en los deportes de resistencia (Sleivert & Rowlands, 1996). Según Chavarren Cabrero, Dorado García & Calbet (1996) existe una relación directa entre el VO_2 máx. y el rendimiento, con lo cual a mayor cantidad de consumo de oxígeno, el atleta mayor rendimiento obtendrá.

2.2.2 Umbral Anaeróbico (UAN)

El Umbral Anaeróbico (UAN) es el momento en el que la intensidad del ejercicio ocasiona un aumento de la concentración de ácido láctico en la sangre, de ahí que, suponga otro factor determinante clave, ya que representa el momento en el que el organismo no puede conseguir la eliminación de lactato tan rápido como lo produce. Por consiguiente, cuanto más cerca se encuentre este umbral del consumo de oxígeno máximo, mayor rendimiento obtendrá el atleta en esfuerzos submáximos (Cejuela et al., 2007).

2.2.3 Capacidad Anaeróbica Láctica

En distancias tan cortas como es la del super sprint, la capacidad anaeróbica láctica es un factor determinante al haber la existencia de salidas explosivas, como es el inicio de la natación; transiciones rápidas; sprints al final de la carrera, y cambios de ritmos. Todo ello, supone que para los atletas que dispongan de una buena capacidad anaeróbica láctica, les permitirá mantener una alta intensidad durante el esfuerzo de manera más duradera en el tiempo.

Así pues, es necesario el requerimiento de tener una alta capacidad de tolerabilidad y eliminación del ácido láctico, dado que se alcanzan altos niveles desde los primeros momentos de la competición (García-Giménez, 2024).

2.2.4 Economía del movimiento

La economía del movimiento supone otro factor clave en la distancia super sprint. Esto origina que un atleta tenga la capacidad de desplazarse de la manera más eficiente posible, consumiendo menos oxígeno a una misma velocidad, lo que supone una ventaja tanto en la natación, en el ciclismo y la carrera a pie (Bentley et al., 2002).

2.3 Ayudas ergogénicas en el deporte

Las ayudas ergogénicas son técnicas que tienen como fin la consecución de la mejora del rendimiento físico, a través de mecanismos fisiológicos, psicológicos o biomecánicos. Estas ayudas se clasifican en mecánicas, nutricionales, psicológicas, farmacológicas y fisiológicas (de Oliveira et al., 2023).

Entre las ayudas ergogénicas nutricionales destacan la cafeína, la creatina, los nitratos, la beta alanina y el bicarbonato sódico (Ketterly, 2022). Este último suplemento tiene un papel fundamental en deportes de resistencia y en pruebas de alta intensidad al disponer la capacidad de influir en el equilibrio ácido-base del organismo.

Tabla 2.

Ayudas ergogénicas

Ayudas ergogénicas	Dosis	Tiempo	Efecto ergogénico	Efectos adversos
Creatina	~ 0,3g/kg de peso corporal (fase de carga, 5 a 7 días); ~0,03 g/kg/día (fase de mantenimiento) ^a	Próxima a la realización de ejercicio físico ^a	↑concentración de creatina intramuscular ^b	Aumento masa corporal ^a
Cafeína	3 a 9 mg/kg de peso corporal ^b	30-90 minutos antes del ejercicio ^b	Ahorro del uso de HC, además de una mejora del rendimiento en sprints repetidos ^b	Alteración sueño, ansiedad, etc ^d
Nitratos	370 a 740 mg/día ^b	Rango entre 5 a 30 minutos ^b	↑concentración de nitrito en el plasma, produce una vasodilatación, ↓ presión arterial, mejorando la eficiencia del trabajo, ↓degradación de la PCr ^b	Disminución excesiva de la presión arterial, molestias gastrointestinales ^e
Bicarbonato	0,3 g/kg de peso corporal ^c	60 a 90 minutos antes del ejercicio ^c	Amortigua la acidez durante el ejercicio de alta intensidad ^c	Produce un malestar gastrointestinal ^c
β-alanina	4 a 6 g, aunque existe evidencia de eficacia hasta 12 g por día ^b	Ejercicio entre 1 a 4 minutos ^b	↑carnosina, es una sustancia principal amortiguadora muscular ^b	Puede llegar a producir malestar gastrointestinal ^f

Nota. g: gramo; kg: kilogramo; mg: miligramo; PCr: fosfocreatina; β: beta

^a(Forbes et al., 2023); ^b(Burke, 2010); ^c(Grgic et al., 2021) ; ^d(Guest et al., 2021); ^e
(Jones, 2014); ^f(Saunders et al., 2017).

2.4 Bicarbonato sódico como ayuda ergogénica sobre el rendimiento de resistencia

El bicarbonato sódico se trata de una ayuda ergogénica con la que se ha demostrado un incremento del rendimiento en deportes de resistencia al realizar la función de amortiguador extracelular y reducir la acidosis metabólica inducida por el ejercicio intenso.

Este compuesto químico, entre otras propiedades, tiene como función, aumentar la concentración de bases en la sangre, haciendo que el transporte de H⁺ fuera del músculo en dirección al plasma, suponga una facilitación. Partiendo de esta función, es decir, su acción de efecto tampón la cual puede relacionarse con una mayor tolerancia del organismo al ejercicio de alta intensidad, como supone el segmento de natación (Carr, Hopkins, et al., 2011).

Mayoritariamente, la dosis más utilizada es de 0,3g/kg de peso corporal, que debe ser ingerida entre 60 y 90 minutos antes del ejercicio. No obstante, el BS puede generar efectos gastrointestinales adversos (Burke & Pyne, 2007). Para ello, existen protocolos que tiene como fin minimizar los posibles efectos que puede producir el BS. Carr, Slater, et al. (2011) proponen ingerir una dosis de 1,5 g/kg de peso corporal de hidratos de carbono (HC) en la comida previa a la ingesta del suplemento.

Su uso puede influir de manera positiva en factores determinantes como el VO₂ máx., el umbral anaeróbico, la potencia crítica y la capacidad anaeróbica láctica. Estas mejoras tienen una especial relevancia en el triatlón, específicamente en la distancia super sprint, donde los deportistas tienen que mantener esfuerzos prolongados de alta intensidad que tiene como consecuencia, una exigencia en la tolerancia del lactato y eficiencia en el uso del oxígeno.

2.4.1 Efectos sobre el VO₂ máx.

No existe evidencia científica que indique que la ingesta de bicarbonato sódico incremente de manera directa el consumo de oxígeno máximo (VO₂). No obstante, esta ayuda ergogénica puede influir de manera positiva en el rendimiento durante la realización de ejercicios de intensidades submáximas. Sin embargo, en el estudio de Zoladz et al. (2005) se concluyó que la alcalosis provocada por la ingesta de BS previa al ejercicio acelera la fase inicial de la cinética del VO₂ durante el ejercicio de alta intensidad. Esto puede conllevar a una mejora del rendimiento al provocar una reducción del tiempo necesario para obtener un estado estable de consumo de oxígeno.

2.4.2 Efectos sobre el UAN o Potencia Crítica

En este aspecto es conveniente acentuar, lo que puede suponer la ingesta de BS en el desplazamiento del umbral anaeróbico hacia intensidades más elevadas, pudiendo mantener esfuerzos mayores antes de que se produzca una acumulación excesiva de ácido láctico (Aktitiz et al., 2024). Como bien se ha mencionado en los efectos sobre el consumo de oxígeno máximo, la inducción de alcalosis metabólica antes del ejercicio origina una aceleración inicial en la cinética del VO_2 , lo que, indirectamente, ocasiona un rendimiento con mayor eficiencia en esfuerzos próximos a la potencia crítica (Zoladz et al., 2005).

2.4.3 Efectos sobre la capacidad anaeróbica láctica

Chycki et al. (2020) concluyeron que existían mejoras en la tolerancia al ácido láctico y en el rendimiento anaeróbico tras la ingesta de BS en atletas de combate, lo cual puede extrapolarse a deportes de resistencia continua con alta intensidad. Además, Hafidz et al. (2025) llegaron a la conclusión que la ingesta de bicarbonato previa al ejercicio supuso una ayuda para mantener el rendimiento anaeróbico y una reducción de la fatiga en deportes de características intermitentes, indicando su potencial utilidad en deportes como el remo, el ciclismo o el triatlón, en los que la capacidad de tolerar esfuerzos de manera prolongada con componentes anaeróbicos es un factor determinante.

2.5 El bicarbonato sódico como ayuda ergogénica en el segmento de natación en triatlón

A pesar de la existencia de literatura científica sobre la ingesta de bicarbonato sódico en diversos deportes, como en la natación, la evidencia científica sobre el segmento de natación en el deporte de triatlón es escasa. Así pues, como consecuencia de esta ausencia de estudios, se tendrá en cuenta artículos en relación con la distancia específica de la natación, de manera aislada.

Por un lado, en el metaanálisis de Grgic et al. (2021) se verifica que el efecto del BS supone una mejora positiva en deportes donde existe un predominio de esfuerzos cortos a una alta intensidad, incluyendo la natación.

Por otro lado, Requena et al. (2005) observaron que existían mejoras de rendimiento significativas en la prueba de 200 y 400 metros libres en nadadores entrenados, mientras que en otros estudios se encontraron que existían, también, beneficios en pruebas de sprints repetidos o esfuerzos intermitentes (Douroudos et al., 2006).

Cabe destacar que la realización de la prueba de 400 metros a máxima intensidad supone un predominio del metabolismo anaeróbico, produciendo un aumento en la concentración de lactato e iones H^+ (Schnitzler et al., 2007). Esto provoca una alteración del pH tanto en el interior como exterior de las fibras musculares, ocasionando una acidosis metabólica, pudiendo originar efectos

negativos en los procesos de contracción, así como acelerar la fatiga. Así pues, la estrategia de la ingesta de bicarbonato podría neutralizar esos H^+ , y así mejorar el rendimiento deportivo.

Sin embargo, la magnitud del efecto del BS tiene una dependencia de factores como el nivel de entrenamiento del deportista, así como su experiencia deportiva. Además, también pueden influir otros factores como el estado nutricional y la sensibilidad del deportista a la alcalosis inducida por el bicarbonato (Edge et al., 2006).

2.6 Justificación del estudio

Diversos estudios verifican las evidencias positivas en deportes de resistencia intermitente o continua. En el caso, del metaanálisis de Grgic et al. (2021) se observan los efectos del bicarbonato en diferentes disciplinas como en deportes de ciclismo y carrera continuos o en tandas de repetición; remo de resistencia continua; en deportes de combate, y en natación continua o de repetición. No obstante, hay muy poca investigación sobre su efecto en triatletas en pruebas aisladas de natación, pero con un enfoque hacia el segmento.

Llegados a este punto, el presente estudio tiene como objetivo analizar, mediante un diseño cruzado, si el BS mejora el rendimiento en una prueba de 400 metros a máxima intensidad en natación, simulando el esfuerzo del primer segmento de triatlón super sprint.

Con este enfoque se intenta aislar el efecto ergogénico del bicarbonato en condiciones controladas, otorgando la posibilidad de conseguir una herramienta que suponga una mejora del rendimiento para deportistas de alto nivel.

3. Objetivos e Hipótesis

3.1 Objetivo general

- Investigar si la ingesta de BS previa a la realización de una prueba máxima de natación de 400 metros tiene efectos ergogénicos en triatletas federados jóvenes.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar si la ingesta de BS (0,3 g/kg de peso corporal) como ayuda ergogénica aumenta el rendimiento específico del triatlón super sprint en la modalidad de natación.
- Determinar si la ingesta de bicarbonato de sodio como ayuda ergogénica afecta a la percepción del esfuerzo durante la prueba de natación.
- Examinar la incidencia de posibles efectos adversos que puedan ocasionar la ingesta de bicarbonato sódico durante el esfuerzo.

3.3 Hipótesis

La hipótesis que se plantea en este trabajo es que el consumo de BS previo al ejercicio supondrá una mejora del rendimiento en los triatletas al reducir la acidosis metabólica, permitiendo al deportista sostener una mayor intensidad de ejercicio durante la prueba.

4. Método

4.1 Contextualización y diseño experimental

Para centrarnos en este diseño experimental, primero hay que resaltar que el segmento de la natación del triatlón en la categoría escolar tiene una distancia de 400 metros. Este segmento tiene una mayor contribución respecto al tiempo total de carrera, cuanto más corta sea la carrera en su conjunto (Wu et al., 2014). Así pues, la natación adquiere gran importancia en esta categoría.

El diseño experimental se fundamentó en un estudio cruzado, aleatorizado, de un solo ciego y controlado con placebo. El estudio se desarrolló en dos sesiones, separadas por un intervalo de 7 días. En ambas sesiones, los deportistas tenían que completar los 400 metros de natación a estilo libre en el menor tiempo posible. El grupo control no recibió ninguna dosis de bicarbonato sódico, en su lugar una dosis de placebo de 0,3 g/kg de peso corporal de cloruro de sodio (NaCl). Mientras que, el grupo experimental recibió una dosis de BS (0,3 g/kg de peso corporal). Para asegurar condiciones de manera equitativa, se administró un cuestionario de nivel (véase Anexo A) a los participantes. En base a las respuestas, los sujetos fueron distribuido por calles de manera individual según su nivel de rendimiento, siendo las calles centrales para los deportistas más rápidos.

4.2 Selección de los participantes

Para la selección de los participantes, se contactó con varios clubes locales, para conocer su disponibilidad y colaboración tanto en la prueba de 400 metros como en la ingesta del bicarbonato sódico. Por tanto, el muestreo se realizó de forma intencional cuyo objetivo era reclutar una muestra de triatletas federados en categoría escolar que cumplieran los siguientes criterios de inclusión y exclusión con el objetivo de garantizar la homogeneidad de la muestra, así como la validez de los resultados obtenidos.

Criterios de inclusión:

- Contar con un mínimo de cuatro años de experiencia en el triatlón.
- Tener ≥ 14 años de edad.
- Realizar un volumen mínimo de 9000 metros semanales de natación.
- Firmar el consentimiento informado aceptando participar en el presente estudio (véase Anexo B).

Criterios de exclusión:

- Estar usando bicarbonato de sodio como ayuda ergogénica.
- Presentar alergia o intolerancia al bicarbonato sódico o al cloruro de sodio (NaCl).
- Padecer enfermedad contraindicada para realizar ejercicio físico (como patologías cardíacas, respiratorias, renales, hepáticas o gastrointestinales).

4.3 Procedimientos

4.3.1 Entorno y cronograma del estudio

El estudio se realizó en la piscina municipal cubierta de Henar Alonso-Pimentel, ubicada en Valladolid durante dos sesiones, los días 7 y 14 de mayo de 2025, con un intervalo de una semana entre ambas. Las pruebas se desarrollaron en horario 21:00 horas (hora local, CEST – hora oficial peninsular española). Ambas sesiones siguieron el mismo protocolo experimental, diferenciándose únicamente en la sustancia ingerida por los participantes (placebo o bicarbonato sódico).

4.3.2 Protocolo de suplementación

Para comenzar se convocó, con 75 minutos de antelación respecto al inicio de la prueba, a los deportistas con el fin de explicar la suplementación, así como el protocolo de la prueba. Tras ello, a los 65 minutos antes de comenzar la prueba, los deportistas realizaron la ingesta del suplemento. Cada sujeto recibió 500 ml de bebida isotónica (Iso Drink On Blue), que contenía una dosis de placebo o de bicarbonato sódico, según la condición experimental asignada. La bebida fue ingerida de manera fraccionada, a elección de los deportistas, durante un período máximo de 5 minutos. De esta manera, se intentaba minimizar las molestias gastrointestinales.

La asignación de la sustancia fue realizar de manera aleatoria, siendo el mismo volumen total y dosis por peso corporal para todos los deportistas (0,3 g/kg). Con una marca de distinción, el grupo experimental recibió una dosis de bicarbonato sódico, mientras que el grupo control recibió cloruro de sodio (NaCl) como placebo. Además, con el fin de disminuir los posibles efectos adversos de las sustancias, se les indicó a los deportistas que, durante la última ingesta de comida tenía que incluir un total de 1,5 g/kg por peso corporal de hidratos de carbono.

4.3.3 Protocolo de la prueba

Durante el transcurso del procedimiento se tuvo en cuenta de forma exhaustiva el protocolo de la prueba que se puede observar en la figura 1. Cada uno de los participantes tenían que recorrer a nado la distancia de 400 metros en estilo libre, intentando realizarlo en el menor tiempo posible. Las calles fueron designadas previamente según el nivel deportivo de los triatletas, determinado mediante el cuestionario de nivel (véase Anexo A).

Antes del inicio de cada prueba, los deportistas llevaron a cabo un calentamiento estandarizado que consistió en:

- Un calentamiento general: 600 metros a una intensidad del 60 % de la frecuencia cardíaca máxima (FC.máx.) o a un esfuerzo percibido entre 2 y 3 sobre 10.
- Un calentamiento específico: 4 repeticiones de 25 metros, estilo libre, a la misma intensidad con la que se pretende realizar el test, a modo de activación. Con una recuperación 1 minuto y 30 segundos entre repeticiones.

Al finalizar el calentamiento, se otorgaron cinco minutos de descanso pasivo a los deportistas antes de comenzar la prueba.

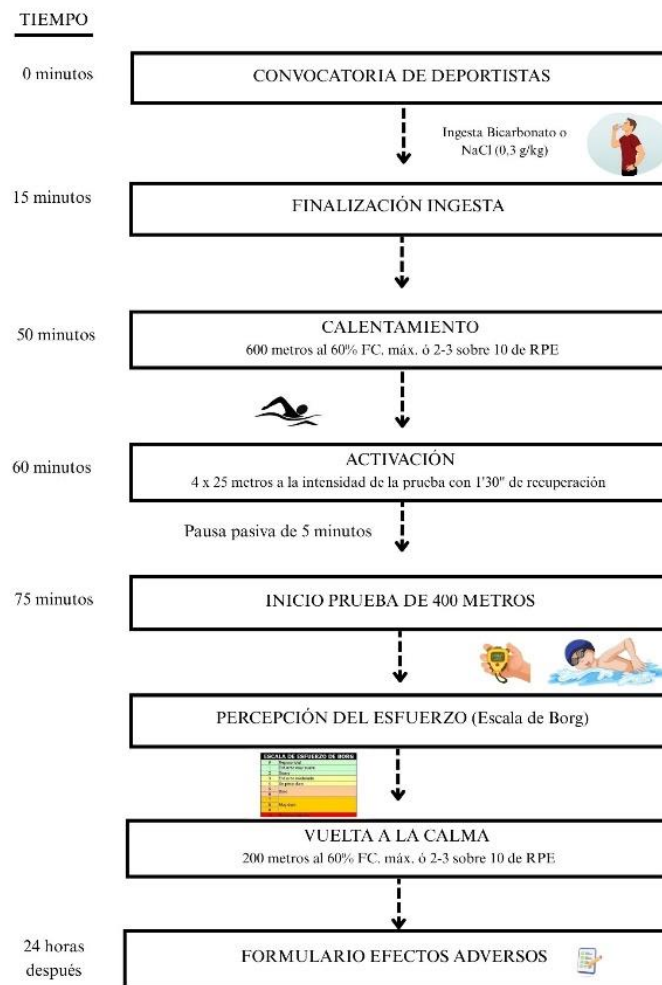
En cuanto al formato de la salida, se realizó desde dentro del agua, suprimiendo el uso del poyete. Una buena salida desde el poyete puede reducir el tiempo final en carreras de corta distancia (Blanco et al., 2017). Esta decisión se basó en el hecho de que el triatlón no contempla el uso del poyete durante la salida de la natación, y que el objetivo principal era fisiológico, no competitivo.

Así pues, se suprime la salida de poyete y se sustituye por la salida desde abajo, al tener como fin un objetivo fisiológico y no un objetivo de mejorar la marca personal. Además, el factor poyete en un triatlón no influye, ya que se trata de un aspecto que no se encuentra en las carreras. El inicio del test se dio mediante dos órdenes verbales: la primera, “A sus puestos”, y la segunda, “Ya” para dar comienzo al test.

Tras completar la distancia de la prueba, los participantes realizaron una vuelta a la calma activa de 200 metros de nado suave a una intensidad del 60 % de la FC máx. o a un esfuerzo percibido entre 2 y 3 sobre 10. Tiene como fin promover una recuperación más rápida de los sistemas cardiovasculares y respiratorios. Además de mejorar los marcadores psicofisiológicos de la recuperación post ejercicio, como disminuir el lactato en sangre, la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la temperatura corporal, etc. (Van Hooren & Peake, 2018).

Figura 1.

Protocolo de la prueba



4.4.4 Registro de datos y esfuerzo percibido

El tiempo fue registrado mediante un cronometraje manual doble utilizando cronómetros digitales (marca Finis Pace Clock, FL, EEUU), llevado a cabo por dos cronometradores independientes. En caso de existir discrepancia superior a 0,2 segundos, se utilizó el promedio de ambas mediciones.

Al finalizar, los tiempos fueron anotados en una hoja de datos en formato Excel. Además de realizar el registro del esfuerzo percibido mediante la escala de modificada de Borg (Foster et al., 2001).

Tras las 24 horas de la realización de cada sesión, se entregó a los deportistas un formulario (véase Anexo C) para registrar los posibles efectos adversos como consecuencia de la ingesta del placebo o del BS.

4.4 Materiales

Para el presente estudio se utilizó la piscina municipal cubierta de Henar Alonso - Pimentel de 25 metros de longitud, cuya ubicación está en Valladolid.

El registro del tiempo se llevó a cabo mediante un cronometraje manual doble, utilizando cronómetros digitales de Finis Pace Clock. Los datos del tiempo y del esfuerzo percibido por los participantes fueron recogidos en una hoja de cálculo de Excel, donde también se llevó a cabo la anotación del tipo de sustancia ingerida por cada participante. La valoración del esfuerzo percibido por los participantes durante la prueba se llevó a cabo con la Escala modificada de Percepción del Esfuerzo de Borg.

Adicionalmente, para conseguir una correcta planificación del protocolo se empleó la herramienta digital de Google Form, con un registro previo de información sobre el nivel de rendimiento de los deportistas (véase Anexo A).

Así mismo, con el fin de evaluar los posibles efectos adversos gastrointestinales como consecuencia de la suplementación, se elaboró un documento de registro de tolerabilidad gastrointestinal (véase Anexo C). Este formulario se realizó entrega a los deportistas 24 horas después de cada sesión, con el objetivo de reflejar los síntomas experimentados como náusea, hinchazón, dolor abdominal, gases o diarrea.

El presente estudio se llevó a cabo con la conformidad de la Declaración de Helsinki. Así pues, antes de la realización de dicha prueba los deportistas tuvieron que firmar un consentimiento informado en la que acepten y haber sido informados sobre el procedimiento de dicha prueba (véase Anexo B).

4.5 Análisis estadístico

Con el fin de comprobar si los datos seguían una distribución normal, se utilizó el test de Shapiro-Wilk, debido al tamaño de la muestra ($n < 50$), siendo $n=8$. Este test permite analizar si una variable presenta una distribución normal, además de diagnosticar si se tratan de pruebas paramétricas o no paramétricas. En el caso de que el valor de $p > 0,05$, se considera a la distribución como normal.

En cuanto a la variable del tiempo, se utilizó el test paramétrico t de Student para muestras pareadas, ya que se trataba de una variable cuantitativa y seguía una distribución normal. En el caso del RPE y de los efectos adversos, se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para muestras pareadas, al contener un valor de $p < 0,05$.

Para el análisis estadístico, se realizó con la herramienta del software Jamovi (desarrollado por The Jamovi Project, Sídney, AUS), versión 2.6.26. Teniendo en cuenta el tipo de variable y la distribución de los datos, dicha herramienta se aplicó para pruebas paramétricas como no paramétricas.

Los resultados se muestran como media \pm desviación estándar (DE). De igual manera, se determinó un nivel de significación de $p < 0,05$, considerando significativamente a las diferencias que tenían un valor p inferior a dicho umbral. El diseño de figuras fue realizado a través del software GraphPad Prism (desarrollado por GraphPad Software, CA, EEUU), versión 5.01.

5. Resultados

5.1 Participantes

La muestra estuvo compuesta por ocho triatletas ($n=8$) españoles federados en categoría escolar, pertenecientes al Club Triatlón Laguna de Duero. De los cuáles, cinco eran varones y tres mujeres. La edad media de los varones fue de $16,00 \pm 1,41$ años, mientras que las mujeres una edad media de $17,00 \pm 1,6$ años.

En cuanto a los datos antropométricos, destacan una altura media de los varones de $1,76 \pm 0,06$ m, por $1,69 \pm 0,01$ m en mujeres, y un peso medio de los varones de $63,3 \pm 3,94$ kg, mientras que las mujeres tuvieron un peso medio de $59,00 \pm 2,45$ kg.

En referencia a los años de práctica de triatlón en los varones fue de un tiempo medio de $8,00 \pm 2,87$ años, y en las mujeres fue de $4,7 \pm 0,47$ años.

Finalmente, el volumen medio semanal del segmento de natación en los varones fue de 12200 ± 1939 metros, mientras que en las mujeres fue de 12067 ± 1464 metros.

Cabe destacar que, según la clasificación propuesta por McKay et al. (2021), estos participantes son considerados deportistas de nivel tipo 3 (nivel nacional/ altamente capacitado), al cumplir los criterios de competir a nivel nacional, así como la afiliación federativa a nivel autonómico y nacional.

Tabla 3.

Perfil de los triatletas

	Chicos		Chicas		Total	
	Media	Desv	Media	Desv	Media	Desv
Edad (años)	16,00	1,4	17,00	1,6	16,4	1,6
Altura (m)	1,76	0,06	1,69	0,01	1,74	0,06
Peso (kg)	63,30	3,94	59,00	2,45	61,70	4,04
Años de experiencia en triatlón	8,0	2,9	4,7	0,5	6,0	3,0
Volumen semanal de natación (m)	12200	1939	12067	1464	12150	1777

Nota. m: metros; kg: kilogramos

5.2 Resultados

5.2.1 Efectos sobre el tiempo en 400m

En la figura 2, se pueden observar los tiempos medios que se obtuvieron por parte de los participantes en el test de 400 metros bajo las condiciones de placebo y bicarbonato sódico. En el eje vertical (Y) se expresa el tiempo de 400 metros en segundos. Mientras que, en el eje horizontal (X) se reflejan las condiciones. De esta manera, la barra sin color corresponde a los tiempos tras la ingesta de bicarbonato, mientras que la barra negra representa al grupo que ingirió la dosis de placebo.

Tal como se muestra en el gráfico, existe una mínima diferencia de altura entre ambas barras, lo cual se puede observar con los valores mostrados en la tabla 4. En cuanto a la condición de placebo tuvo un promedio de $308,6 \pm 24,2$ segundos, mientras que $307,1 \pm 24,8$ segundos en la condición de bicarbonato. Una desviación elevada, supone que la respuesta entre los deportistas no fue homogénea.

Aunque se pueda observar, en términos absolutos, una diferencia de 1,5 segundos a favor del bicarbonato no alcanzó una diferencia estadística ($p = 0.393$).

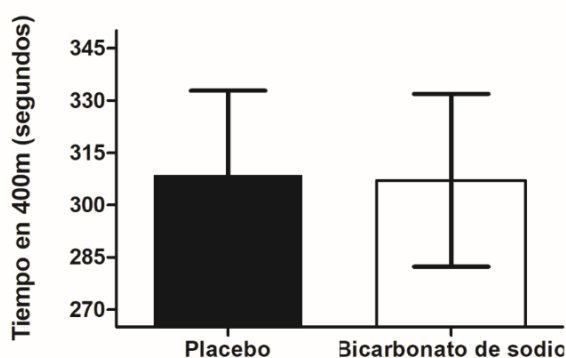
Tabla 4.

Resultados descriptivos del tiempo y RPE

Variable	Placebo	Bicarbonato	Diferencia medias	Valor p
Tiempo (segundos)	$308,6 \pm 24,2$	$307,1 \pm 24,8$	$1,5 \pm 4,7$	0.393
Esfuerzo percibido (u.a.)	$9 \pm 0,5$	$7,6 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,5$	0.012

Figura 2.

Efectos de cada condición experimental sobre el rendimiento en natación sobre 400m



5.2.2 Percepción del esfuerzo (RPE)

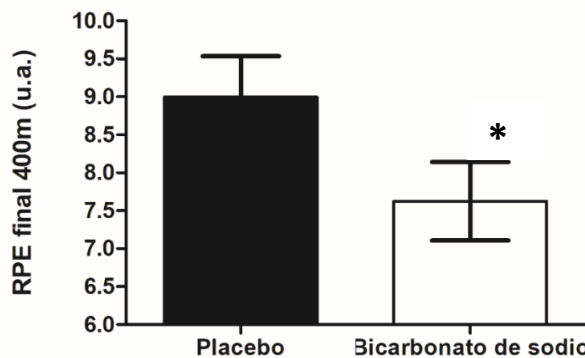
En la figura 3, se puede reflejar el promedio del esfuerzo percibido que se obtuvo al finalizar del test de 400 metros en ambos días. En el eje vertical (Y) se expresa el nivel de esfuerzo percibido en una escala subjetiva correspondiente con la escala de Borg modificada de 0 a 10. Mientras que, en el eje horizontal (X) se representan las dos condiciones experimentales. De esta manera, la barra sin color corresponde al esfuerzo percibido tras la ingesta de bicarbonato, mientras que la barra negra representa el esfuerzo percibido del grupo que ingirió la dosis de placebo.

Tal como se representa en el gráfico, se puede observar una diferencia visual, siendo el valor medio de RPE cercano a $9 \pm 0,5$ u.a durante la ingesta de placebo, mientras que con el bicarbonato disminuyó a un $7,5 \pm 0,52$ u.a.

En cuanto al valor de p obtenido ($p= 0.393$), indica que esta variable supuso una diferencia estadística bajo la condición de bicarbonato.

Figura 3.

Efectos de cada condición experimental sobre la sensación del esfuerzo en natación sobre 400m



Nota. * $p < 0,05$, diferencia significativa

5.2.3 Efectos adversos

La ingesta del bicarbonato sódico puede presentar efectos adversos, de carácter gastrointestinal, con lo que puede afectar el rendimiento. Así pues, se realizará un análisis de la severidad, con una escala del 1 al 10, y de la frecuencia con la que aparecen en los deportistas.

Severidad de los síntomas.

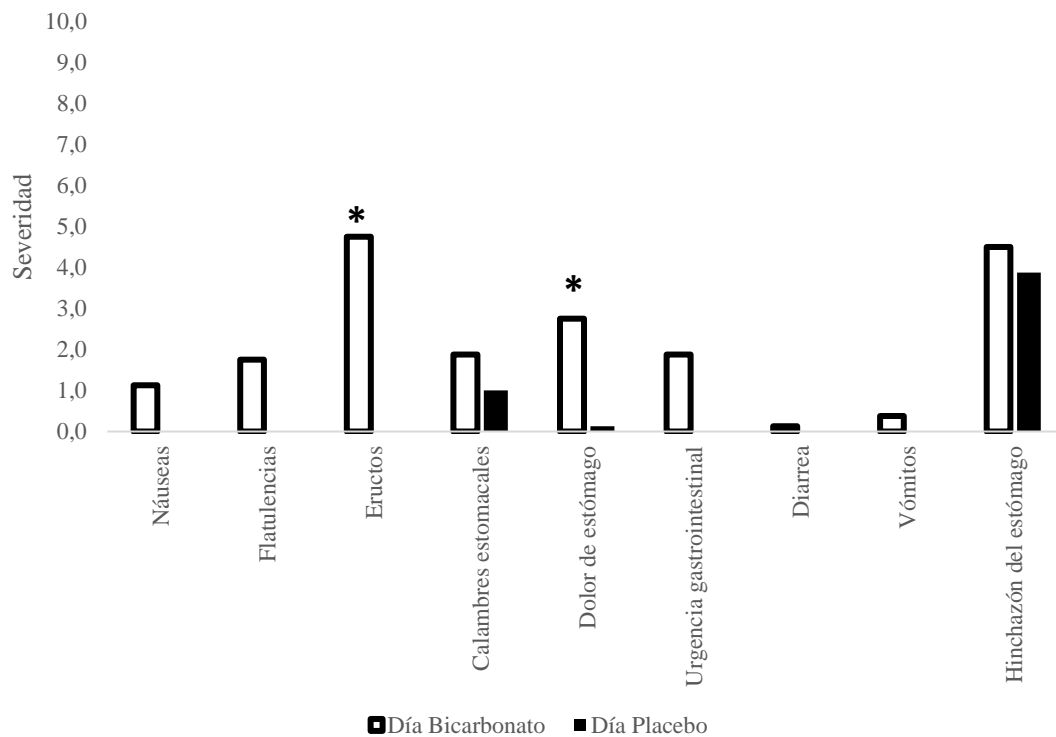
En la figura 4 se puede observar la severidad de los síntomas gastrointestinales bajo ambas condiciones, día de ingesta de bicarbonato y de placebo. Cada barra representa una de estas condiciones, siendo la de color negra para la del placebo y la de color blanca para el bicarbonato.

En el eje vertical (Y), se observa la severidad de los síntomas con una escala del 1 al 10 (u.a). Y, en el eje horizontal (X), se reflejan los síntomas más frecuentes durante la ingesta de ambos suplementos.

Tal como se puede observar en el gráfico, existe un aumento de la severidad de los síntomas en el día de la ingesta del bicarbonato respecto con el día placebo. Sin embargo, existe una similitud de la severidad en los síntomas de hinchazón del estómago y calambres estomacales bajo ambas condiciones. Los síntomas de eructos y dolor de estómago presentan valores de $p=0.014$ y 0.036 , respectivamente. Siendo estos los únicos síntomas con diferencias significativas tras la ingesta de bicarbonato. El síntoma de urgencia gastrointestinal muestra unos valores cercanos al nivel de significancia, $p=0.058$. Mientras tanto, el resto de los síntomas presentan unas diferencias no significativas tras ingerir bicarbonato: náuseas ($p=0.371$), flatulencias ($p=0.100$), calambres estomacales ($p=0.181$), diarrea y vómitos ($p=1.000$), e hinchazón de estómago ($p=0.495$).

Figura 4.

Severidad de los síntomas



Nota. * $p < 0,05$, diferencia significativa

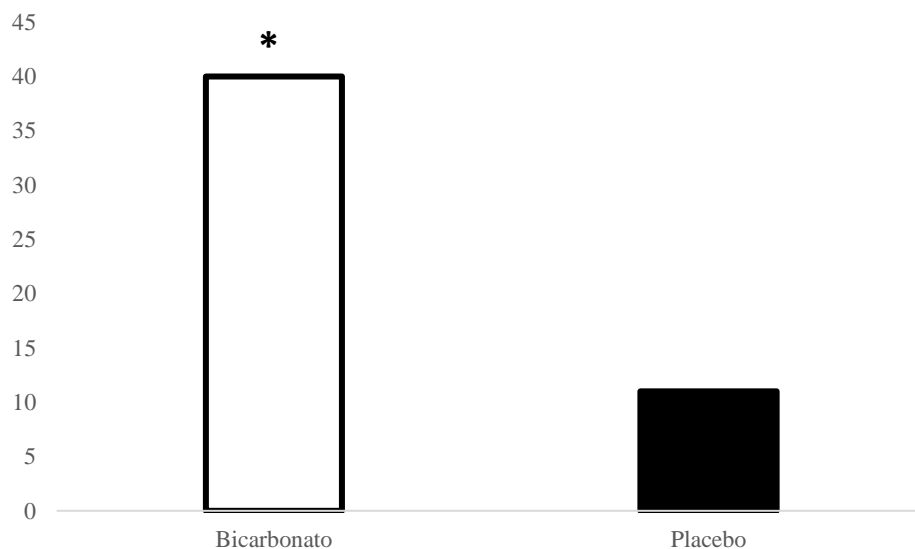
Frecuencia de los síntomas.

En la figura 5 se puede observar la frecuencia de los síntomas durante el día de la ingesta de bicarbonato y de placebo. Cada barra representa una de estas condiciones, siendo la de color negra para la del placebo y la de color blanca para el bicarbonato. En el eje vertical (Y), se observa el número de casos reportados (frecuencia). Y, en el eje horizontal (X), se reflejan las condiciones experimentales.

Tal como se puede observar en el gráfico, se aprecia una mayor cantidad de casos reportados tras la ingesta de BS (n =40) respecto a los casos en la ingesta de placebo (n = 11). Se observó una diferencia significativa de la frecuencia de los casos bajo la condición de bicarbonato frente a la del placebo, con un valor de $p= 0.001$.

Figura 5.

Frecuencia de los síntomas



Nota. * $p < 0,05$, diferencia significativa

6. Discusión

El objetivo general de este estudio fue analizar el impacto que ocasionaba la ingesta del bicarbonato sódico previo a una prueba de 400 metros y su posible efecto fisiológico para retrasar la fatiga, en el que no se observaron diferencias significativas en cuanto al tiempo final de la prueba bajo la condición de bicarbonato y placebo. Sin embargo, si existió una diferencia significativa en el RPE, en la que la condición de bicarbonato tuvo valores menores de percepción con respecto al placebo. En cuanto a los efectos adversos, se obtuvieron diferencias significativas en la severidad de los síntomas bajo la condición del bicarbonato (eructos, dolor de estómago y urgencia gastrointestinal). También existe una severidad de síntomas en la condición placebo, pero su incidencia es menor. En cuanto a la frecuencia de los síntomas, existe una diferencia significativa tras la ingesta de BS.

Cabe destacar que en deportes como es el caso de la natación, conseguir una medalla de oro, de plata, de bronce o quedarse fuera del pódium en una competición o evento olímpico, puede ser por diferencias de centésimas de segundos. En un estudio de Li & Hopkins (2022) se observó una diferencia de 0,02 segundos, lo que equivale a recorrer 4 cm. Así pues, la ingesta del bicarbonato puede ayudar a mejorar el rendimiento, retrasando la acidosis metabólica y pudiendo mejorar por centésimas de segundo.

No obstante, en una disciplina como es el triatlón, no existen estas diferencias tan decisivas, ya que, tras finalizar el segmento de natación, todavía el atleta tiene que completar otros dos segmentos (el ciclismo y la carrera a pie). De todas maneras, el triatlón se trata de una disciplina de resistencia continua, pero con intervalos de esfuerzos máximos o supra-máximos. Así pues, se puede tratar de una estrategia ergogénica en el triatlón, a pesar de la aparición de los efectos adversos tras su ingesta (Grgic et al., 2021).

De este modo, la ingesta de BS puede suponer una ayuda ergogénica que beneficie el rendimiento del deportista, consiguiendo en disciplinas como la natación que se obtenga medalla por centésimas o en el caso del segmento de natación de un triatlón pudiendo originar diferencias con sus rivales. Sin embargo, en el presente estudio no se observaron mejoras en cuanto al rendimiento de la natación, siendo este hallazgo coherente con otros estudios como el de Pruscino et al. (2008) en el que se observó que no existía un aumento del rendimiento inmediato, pero tras varias repeticiones de la distancia de 200 metros estilo libre, se apreció una diferencia significativa. Esto sugiere que el bicarbonato sódico tiene efecto ergogénico en pruebas de corta duración y de varias repeticiones. Otro estudio el de Gurton et al. (2025) en el que se realizó un ensayo doble ciego entre nadadores bien entrenados, no se encontraron diferencias significativas entre el bicarbonato y el placebo en una contrarreloj de 200 y 400 metros. A estos dos estudios, se puede añadir el de Gao et al. (1988) en el que se reportó un aumento del rendimiento en nadadores tras ingerir

bicarbonato en series de sprints repetidos (5x100 yardas), destacando una mejora en los últimos sprints, en los que la fatiga es mayor. Lo cual puede indicar que el bicarbonato solo tiene efecto en deportes de resistencia intermitente.

Ahora bien, Lindh et al. (2008) mostraron que existía una diferencia significativa en una prueba única de 200 metros bajo la condición de bicarbonato frente a la de placebo. Además, añadieron que la alcalosis producida por la ingesta de bicarbonato puede provocar un mínimo aumento, pero significativo, del pH muscular, reduciendo así la acidez que provoca la fatiga. De tal manera, se puede llegar a retrasar dicha fatiga y favorecer un mayor rendimiento. Dichas diferencias de tiempo pueden deberse a la variabilidad que cada sujeto presenta en respuesta y al tiempo de la ingesta, así como la condición individual que tiene cada deportista y la familiarización que tiene el sujeto con la prueba a realizar (Requena et al., 2005).

Un estudio realizado por Coquart et al. (2012) reveló que existe una relación entre la percepción de esfuerzo y los factores psicológicos, pudiendo interpretar este hallazgo como que el RPE puede ser un factor clave para conseguir un buen rendimiento durante el esfuerzo. Es decir, si se consigue mantener un RPE más bajo de lo normal, el atleta podrá conseguir llegar a su máximo de esfuerzo gracias a un aumento de la fuerza mental.

Por consiguiente, los resultados tras analizar la variable del RPE, indicaron que la percepción del esfuerzo fue mayor con el placebo en comparación con la condición de bicarbonato. Este resultado indica que, a pesar de que la ingesta de bicarbonato no supuso una mejora en el tiempo total de la prueba, pudo influir en la percepción subjetiva del esfuerzo. Tras la ingesta de bicarbonato, el RPE puede influir en la sensación de dolor, provocado por la acidosis intramuscular, durante el ejercicio intenso (Gurton et al., 2025). En otras investigaciones como Gurton et al. (2025) & Lindh et al. (2008), se reportaron en pruebas de 200 y 400 metros valores de RPE significativamente menor bajo la condición de bicarbonato, aunque sin mejora en el tiempo total. Esto sugiere que, aunque no haya un aumento de manera objetiva del rendimiento, la ingesta de bicarbonato puede reducir la sensación de fatiga muscular, contribuyendo a la estabilización del equilibrio ácido-base. De esta manera, se genera una menor percepción de esfuerzo durante la realización del ejercicio.

Como bien se ha mencionado a lo largo de todo el estudio, la ingesta de BS lleva asociado una manifestación de efectos adversos como eructos, dolor de estómago, etc., que dependen de la tolerabilidad individual, la dosis administrada (Grgic et al., 2021).

De la misma manera, en este estudio se mostraron resultados con diferencias significativas en la severidad de síntomas como los eructos y dolor de estómago. No obstante, la incidencia y la gravedad de los efectos presentan una variabilidad individual. Además, pueden afectar de manera negativa en el rendimiento (Grgic, Pedisic, et al., 2021).

En otro estudio, Gurton et al. (2025) informaron que los participantes indicaron un mayor malestar gastrointestinal tras la ingesta de bicarbonato con respecto al placebo, pero no se encontró una correlación entre la gravedad de los síntomas y las mejoras en el rendimiento. De tal manera que no se puede demostrar que un alto índice de molestias gastrointestinales perjudique el rendimiento. En el estudio de Carr, Slater, et al. (2011), en el que la dosis y el tiempo de ingesta tiene una similitud al usado en el presente estudio (0,3g/kg de peso corporal en solución líquida con una ingesta previa de 90 minutos al inicio del ejercicio), cuando se observaron síntomas gastrointestinales intensos, no se observaron mejoras en el rendimiento.

En cuanto a la frecuencia de los síntomas, no se observaron diferencias significativas bajo la condición de bicarbonato frente a la de placebo, teniendo un mayor índice de casos, la condición de bicarbonato. Este hallazgo puede estar influenciado por la variabilidad individual, así como la tolerabilidad de cada uno de los sujetos (Carr, Slater, et al., 2011).

7. Conclusiones

Este estudio tuvo como objetivo general analizar el efecto que tiene el bicarbonato en el rendimiento en una prueba de 400 metros nadando, además del impacto sobre la sensación de percepción del esfuerzo y la manifestación de efectos adversos en triatletas escolares federados.

Los resultados obtenidos no supusieron mejoras significativas en cuanto a la variable del tiempo final en la prueba de 400 metros de natación. Así pues, la ingesta de bicarbonato sódico no originó un efecto ergogénico sobre el rendimiento.

Respecto a la variable del RPE, se observó una diferencia significativa bajo la condición de bicarbonato frente a la del placebo, lo que supone que el suministro de bicarbonato pudo ser una estrategia que redujo la percepción de fatiga durante el ejercicio.

En relación con los efectos adversos, los síntomas que presentaron una mayor severidad fueron los eructos y dolor de estómago bajo la condición de bicarbonato. A pesar de que la frecuencia de los síntomas tuvo un mayor índice de casos tras la ingesta de bicarbonato, no supuso una diferencia significativa en comparación con la del placebo.

Cabe destacar que la ineficacia de mejora en el rendimiento de manera objetiva, a pesar de los efectos fisiológicos esperados, además de la manifestación de efectos adversos, cuestiona la eficacia de esta estrategia ergogénica en jóvenes deportistas.

De modo que, la hipótesis planteada que establecía que la ingesta de BS supondría una mejora del rendimiento en triatletas al retrasar la acidosis metabólica, no se cumple. A pesar de esto, se puede asociar a una mejora de la tolerancia al esfuerzo.

En resumen, no se consiguió una mejora en el rendimiento de la prueba de 400 metros a estilo libre, tras la ingesta de bicarbonato. Aunque, esta ingesta se asoció con un menor de esfuerzo percibido y con la manifestación de síntomas gastrointestinales.

8. Aplicaciones prácticas

A pesar de que los resultados no mostraron una mejora significativa en el tiempo total de una prueba de 400 metros, reflejan una reducción estadística significativa en el esfuerzo percibido (RPE). Así pues, la ingesta de bicarbonato sódico tiene una aplicación práctica en el contexto del triatlón, reduciendo esta percepción de fatiga durante esfuerzos de alta intensidad, como se trata de la distancia super sprint.

De igual manera, la ingesta de bicarbonato se puede utilizar como una estrategia de apoyo perceptiva durante el segmento de natación, permitiendo a los triatletas iniciar el segmento de ciclismo en unas condiciones físicas y mentales adecuadas. En el caso del contexto de los entrenamientos, esta herramienta podría tener su uso en entrenamientos que requieran alta intensidad que permitan incrementar la tolerancia al esfuerzo sin provocar la sensación de agotamiento.

Por último, el uso de la ingesta del bicarbonato sódico permitiría ampliar una formación de los entrenadores y deportistas. Esto se debe a que la respuesta de este suplemento puede suponer una variación entre los deportistas, teniendo que crear protocolos individualizados, de acuerdo, con la evaluación de los efectos en contextos de entrenamiento y competiciones.

9. Limitaciones del estudio y futuras líneas de investigación

Como en todas las investigaciones, existen limitaciones durante el estudio que deben ser consideradas al interpretar los resultados obtenidos.

En primer lugar, el tamaño de la muestra tuvo un número reducido ($n=8$). Esta limitación de sujetos origina una disminución de la estadística, así como dificultar la generalización de los hallazgos hacia otras poblaciones, como deportistas de diferentes niveles de experiencia o edades.

Otra limitación presente en este estudio fue el uso de un diseño de un solo ciego, en el que los deportistas desconocían la asignación de bicarbonato sódico o placebo. Sin embargo, en el caso de los investigadores existía conocimiento de dicha asignación, lo cual supone un riesgo potencial de sesgo en cuanto a la ingesta del suplemento, la recopilación de datos o la interpretación de estos.

Asimismo, se estandarizó la ingesta 65 minutos antes de la prueba, permitiendo una ventana de hasta 5 minutos para la administración del suplemento. Esto podría afectar al momento de absorción del suplemento en cada uno de los individuos, lo cual puede llegar a distorsionar el rendimiento.

Otro aspecto clave es la falta de control de una dieta previa a la prueba, a pesar de proporcionar una pauta de 1,5 g /kg de peso corporal de hidratos de carbono durante la última comida de los participantes. No se llevó a cabo un registro de dicha ingesta, así como una supervisión, lo cual pudo influir en el rendimiento y en la manifestación de los efectos secundarios gastrointestinales.

Otro factor limitante de este estudio fue no realizar el registro de variables como la concentración de lactato en sangre o el pH sanguíneo que permitirían verificar los efectos que ocasiona el bicarbonato en el organismo. Y si, realmente produjo el efecto del tampón esperado.

También, cabe destacar que no fueron registradas las condiciones ambientales o del entorno durante la prueba como la temperatura del agua, el estado emocional o motivacional de los participantes, las cuales pueden llegar a influir de manera directa en el rendimiento. De la misma manera, no se realizó ni un control de la carga de entrenamiento ni el estado de recuperación de los deportistas en los días previos a las intervenciones, lo cual podría haber generado diferencias de rendimiento.

Por último, el diseño del estudio fue de intervención aguda y se centró en el segmento de natación, sin tener en cuenta el rendimiento en una prueba de triatlón ni en otros segmentos como son el ciclismo o carrera, lo cual supone una limitación para aplicar los resultados al contexto de competición.

A partir de las limitaciones detectadas a lo largo de este estudio, se pueden sugerir varias futuras líneas de investigación. De esta manera, se puede ampliar el conocimiento del efecto del bicarbonato sódico en el rendimiento deportivo.

En primer lugar, con el objetivo de conseguir ampliar la validez de los resultados y analizar si la eficacia del bicarbonato tiene una variación según el perfil del deportista, resultaría recomendable realizar estudios con un tamaño muestral de mayor amplitud y con sujetos de diferentes niveles de experiencia, disciplinas deportivas y distintas edades.

También cabe destacar que llevar a cabo la implementación del diseño de un doble ciego podría minimizar los sesgos en relación con el conocimiento de la condición experimental, lo que incrementaría así la validez interna del estudio.

Asimismo, resultaría relevante investigar el tiempo óptimo de suplementación del bicarbonato sódico, consiguiendo ajustar lo más preciso posible la ingesta con respecto a la realización del test, con el fin de disminuir la variabilidad individual y optimizar el efecto ergogénico.

Del mismo modo, es importante tener en cuenta para futuras investigaciones un control dietético más preciso previo a la prueba, sobre todo la cantidad de hidratos de carbono ingeridos, dado que estos pueden influir en el rendimiento y la manifestación de efectos secundarios vinculadas a la suplementación.

Igualmente, resulta relevante añadir la medición de variables fisiológicas como el pH sanguíneo, la concentración de lactato u otros marcadores bioquímicos que comprueben de manera objetiva el efecto del tampón del bicarbonato y comprensión de la influencia a nivel fisiológico.

Además, es importante establecer un control de manera más exhaustivo de las condiciones contextuales y del estado de recuperación de los deportistas, así como realizar un registro de la temperatura del agua, del estado emocional y motivacional de los deportistas, junto con la carga de entrenamiento y nivel de recuperación previo a la prueba. Estos elementos pueden afectar al rendimiento deportivo y condicionar la interpretación de los resultados obtenidos tras la ingesta del suplemento.

Finalmente, se propone realizar investigaciones enfocadas en otros segmentos del triatlón como son el ciclismo y la carrera a pie, además de realizar estudios, cuyo contexto sea próximo a una competición. Esto puede permitir evaluar el efecto del bicarbonato sódico en condiciones de un entorno real próximo a la competición.

10. Referencias bibliográficas

- Aktitiz, S., Koşar, Ş. N., & Turnagöl, H. H. (2024). Effects of acute and multi-day low-dose sodium bicarbonate intake on high-intensity endurance exercise performance in male recreational cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *124*(7), 2111-2122. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05434-1>
- Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E., & McNaughton, L. R. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: Implications for physiological analysis and performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *32*(6), 345-359. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232060-00001>
- Blanco, S. T., Caynzos, B. de la F., & Colomina, R. A. (2017). Ventral swimming starts, changes and recent evolution: A systematic review (Cambios y reciente evolución de las salidas ventrales de natación: revisión sistemática). *Retos*, *32*, 279-288. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i32.49535>
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales* (pp. viii, 104). Human Kinetics.
- Burke, L. M. (2010). Fueling strategies to optimize performance: Training high or training low? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*(s2), 48-58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01185.x>
- Burke, L. M., & Pyne, D. B. (2007). Bicarbonate loading to enhance training and competitive performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *2*(1), 93-97. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.1.93>
- Buttar, K., Saboo, N., & Kacker, S. (2019). A review: Maximal oxygen uptake (VO₂ max) and its estimation methods. *International journal of physical education, sports and health*. [https://www.semanticscholar.org/paper/A-review%3A-Maximal-oxygen-uptake-\(VO2-max\)-and-its-Buttar-Saboo/eec05d83a23b3cfe65a3f9aafa6c064b8fd12196](https://www.semanticscholar.org/paper/A-review%3A-Maximal-oxygen-uptake-(VO2-max)-and-its-Buttar-Saboo/eec05d83a23b3cfe65a3f9aafa6c064b8fd12196)
- Carr, A. J., Hopkins, W. G., & Gore, C. J. (2011). Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: A meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *41*(10), 801-814. <https://doi.org/10.2165/11591440-000000000-00000>

- 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>
- Cejuela, R., Pérez Turpin, J. A., Villa Vicente, J. G., Cortell-Tormo, J. M., & Rodríguez Marroyo, J. A. (2007). *Análisis de los factores de rendimiento en triatlón distancia sprint*. <https://doi.org/10.4100/jhse.2007.22.01>
- Chavarren Cabrero, J., Dorado García, C., & Calbet, J. A. (1996). Triatlón: Factores condicionantes del rendimiento y del entrenamiento. *Red: revista de entrenamiento deportivo*[ISSN 1133-0619],v. 10 (2), p. 29-37.
<https://acceda.cris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/56665>
- Chycki, J., Zając, A., & Toborek, M. (2020). Bicarbonate supplementation via lactate efflux improves anaerobic and cognitive performance in elite combat sport athletes. *Biology of Sport*, 38(4), 545-553. <https://doi.org/10.5114/biolport.2020.96320>
- Coquart, J. B. J., Dufour, Y., Gros Lambert, A., Matran, R., & Garcin, M. (2012). *Relationships Between Psychological Factors, RPE and Time Limit Estimated by Teleoanticipation*. <https://doi.org/10.1123/tsp.26.3.359>
- de Oliveira, G. T., de Souza, H. L. R., Meireles, A., Dos Santos, M. P., Leite, L. H. R., Ferreira, R. M., & Marocolo, M. (2023). Use of ergogenic aids among Brazilian athletes: A cross-sectional study exploring competitive level, sex and sports. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1257007. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1257007>
- Douroudos, I. I., Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Jamurtas, A. Z., Tsitsios, T., Hatzinikolaou, A., Margonis, K., Mavromatidis, K., & Taxildaris, K. (2006). Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(10), 1746-1753.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000230210.60957.67>

- Edge, J., Bishop, D., & Goodman, C. (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *European Journal of Applied Physiology*, 96(1), 97-105.
<https://doi.org/10.1007/s00421-005-0068-6>
- Forbes, S. C., Candow, D. G., Neto, J. H. F., Kennedy, M. D., Forbes, J. L., Machado, M., Bustillo, E., Gomez-Lopez, J., Zapata, A., & Antonio, J. (2023). Creatine supplementation and endurance performance: Surges and sprints to win the race. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 20(1), 2204071.
<https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204071>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
- Gao, J., Costill, D. L., Horswill, C. A., & Park, S. H. (1988). Sodium bicarbonate ingestion improves performance in interval swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(1), 171-174. <https://doi.org/10.1007/BF00636622>
- García-Giménez, A. (2024). TRIATHLON PERFORMANCE: PHYSIOLOGICAL AND TRAINING STRATEGIES FROM SUPER SPRINT TO LONG DISTANCE EVENTS. *Physical Education and Sport Through The Centuries*, 11(2), Article 2.
<https://doi.org/10.5937/spes2402087G>
- 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>

- 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>
- Gurton, W. H., Dabin, L., & Marshall, S. (2025). No Effect of Individualized Sodium Bicarbonate Supplementation on 200-m or 400-m Freestyle-Swimming Time-Trial Performance in Well-Trained Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 20(2), 224-231. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2023-0535>
- Hafidz, A., Rusdiawan, A., Kusuma, D. A., Jiménez, J. V. G., Ashadi, K., Daulay, D. A. A., Kafrawi, F. R., Husnul, D., & Lestari, B. (2025). The Effect of a Sodium Bicarbonate Drink on the Recovery of Anaerobic Fatigue and Lactic Acid After Exhausting Exercise. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deportes y Recreación*, 67. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/111756>
- Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44 Suppl 1(Suppl 1), S35-45. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>
- Ketterly, J. (2022). Sports Medicine: Ergogenic Aids. *FP Essentials*, 518, 23-28.
- Li, F., & Hopkins, W. G. (2022). Rule Changes to Increase Shared Medal Winning at the Olympics. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.885640>
- Lindh, A. M., Peyrebrune, M. C., Ingham, S. A., Bailey, D. M., & Folland, J. P. (2008). Sodium bicarbonate improves swimming performance. *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 519-523. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989228>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2021). *Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>

- Pruscino, C. L., Ross, M. L. R., Gregory, J. R., Savage, B., & Flanagan, T. R. (2008). *Effects of Sodium Bicarbonate, Caffeine, and Their Combination on Repeated 200-m Freestyle Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.18.2.116>
- Requena, B., Zabala, M., Padial, P., & Feriche, B. (2005). Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(1), 213-224. <https://doi.org/10.1519/13733.1>
- Saunders, B., Elliott-Sale, K., Artioli, G. G., Swinton, P. A., Dolan, E., Roschel, H., Sale, C., & Gualano, B. (2017). β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(8), 658-669. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096396>
- Schnitzler, C., Ernwein, V., Seifert, L., & Chollet, D. (2007). Comparison of spatio-temporal, metabolic, and psychometric responses in recreational and highly trained swimmers during and after a 400-m freestyle swim. *International Journal of Sports Medicine*, *28*(2), 164-171. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924208>
- Sleivert, G. G., & Rowlands, D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *22*(1), 8-18. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00002>
- Van Hooren, B., & Peake, J. M. (2018). Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *48*(7), 1575-1595. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0916-2>
- Wu, S. S., Peiffer, J. J., Brisswalter, J., Nosaka, K., & Abbiss, C. R. (2014). Factors influencing pacing in triathlon. *Open Access Journal of Sports Medicine*, *5*, 223-234. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S44392>

Zoladz, J. A., Szkutnik, Z., Duda, K., Majerczak, J., & Korzeniewski, B. (2005). Preexercise metabolic alkalosis induced via bicarbonate ingestion accelerates Vo_2 kinetics at the onset of a high-power-output exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 98(3), 895-904.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01194.2003>

11. Anexos

ANEXO A. Formulario de clasificación de deportistas por nivel

FORMULARIO DE CLASIFICACIÓN DE DEPORTISTAS POR NIVEL – PRUEBA DE 400 m ESTILO LIBRE (NATACIÓN)

Test del Bicarbonato Sódico

- Nombre del evaluador: _____
- Fecha: _____
- Instalación: _____

Datos del deportista

○ Nombre completo:

○ Edad: _____ años

○ Sexo: Masculino Femenino

○ Altura: _____ cm

○ Peso: _____ kg

○ Años experiencia en triatlón: _____

○ Volumen semanal: _____ metros

○ Historial de lesiones o afecciones recientes:

Prueba de 400 metros estilo libre

- Marca personal en 400 metros: ___ min ___ s

ANEXO B. Declaración de consentimiento informado

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA MENORES

Proyecto:

Efectos fisiológicos del bicarbonato sódico en un estudio cruzado en el segmento de natación del triatlón, en jóvenes de edad escolar.

D./Dña.....con DNI.....

en representación de.....con DNI.....

Fecha de nacimiento del participante:.....

Investigador principal responsable: Sr. Sergio Correa Montesinos (estudiante en el grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad de Valladolid, Campus de Soria)

El investigador responsable, Dr. Sergio Correa Montesinos, puede ser contactado con el fin de recibir información acerca del proyecto, en el teléfono 674525773 y/o a través de vía email sergio.correa@estudiantes.uva.es

Lea con atención la información que se recoge en este documento y esté asegurado de comprender completamente el proyecto de investigación. Si usted autoriza la participación del menor, firme este documento. Con su firma, usted confirma que ha sido informado sobre los detalles del proyecto, sus requisitos y riesgos, y que acepta participar de manera voluntaria. Se le proporcionará una copia de este documento para su referencia.

OBJETO DEL ESTUDIO

Ha sido seleccionado para participar en un estudio de investigación orientado al segmento de natación en triatletas, cuyo fin es analizar la evaluación del rendimiento con y sin la ingesta del bicarbonato sódico, y si existe una relación a la hora de retrasar la aparición de la fatiga.

PROCEDIMIENTOS Y DURACIÓN DEL ESTUDIO

Los procedimientos de los que constan el estudio son los siguientes:

- 1) **Prueba preliminar:** se realizará una recogida de datos sociodemográficos (peso, altura, edad, sexo y años de experiencia. Tras esto, se establecerán diferentes niveles tomando de referencia los tiempos que tienen los participantes la distancia de 400 metros.

ANEXO C. Evaluación de la tolerabilidad gastrointestinal

EVALUACIÓN DE LA TOLERABILIDAD GASTROINTESTINAL

El presente cuestionario evalúa los síntomas adversos gastrointestinales que el/la participante ha podido experimentar como consecuencia de la ingesta de la bebida ergogénica o placebo proporcionada por el investigador.

Nombre y Apellidos del/la participante:

1. En la bebida proporcionada por el investigador, ¿qué considera haber ingerido? Placebo / Bicarbonato de Sodio / No estoy seguro/a
2. ¿Ha experimentado algún síntoma gastrointestinal inusual? SI / NO
3. 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		
<input type="checkbox"/> Náuseas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Flatulencias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Eructos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Calambres estomacales	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Dolor de estómago	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Urgencia gastrointestinal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Diarrea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Vómitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/> Hinchazón del estómago	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

* 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.