
HIDRATACIÓN EN DEPORTES DE ALTITUD

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



Trabajo Final de Máster
Máster de Alimentación en la Actividad Física y el
Deporte

Autor/a: Joaquín García Pascual
Tutor/a del TFM: María José Jiménez-Casquet Flores

Marzo-Julio 2021



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Índice

Resumen	3
Abstract	4
1 Introducción	5
1.1 Altitud	5
1.2 Adaptaciones fisiológicas que se producen en altitud	5
1.3 Deshidratación.....	7
1.4 Estrategias de hidratación	8
1.5 Mal Agudo de Montaña.....	9
1.6 Marco actual	10
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo general y secundarios.....	11
2.2 Preguntas investigables.....	11
3 Metodología.....	12
3.1 Estrategia de búsqueda.....	12
3.2 Criterios de inclusión y exclusión	12
3.2.1 Criterios de inclusión	12
3.2.2 Criterios de exclusión	12
3.3 Resultados de la búsqueda	13
4 Resultados.....	15
4.1 Descripción detallada de los estudios	18
4.2 Análisis de la muestra utilizada.....	23
4.3 Análisis del escenario utilizado	23
4.4 Análisis de la estrategia de hidratación utilizada.....	23
5 Discusión.....	24
6 Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación.....	27
6.1 Diseño y tipo de estudio.....	27
6.2 Población diana	28
6.3 Sistema de recogida de datos	28
6.4 Variables del estudio	28
6.5 Consideraciones éticas.....	29
7 Conclusiones	29
8 Bibliografía.....	31
ANEXO I. ABREVIATURAS.....	33

Resumen

Introducción: Las estancias en altitud son un método eficaz para la mejora del rendimiento deportivo ya que la situación de hipoxia provoca adaptaciones fisiológicas que favorecen la condición física. En altitud se produce una disminución del agua corporal y puede afectar de manera significativa al rendimiento de los entrenamientos realizados. Estrategias de hidratación adaptadas a la altitud son necesarias para la asimilación correcta de los entrenamientos.

Objetivo: Este trabajo tiene como objetivo analizar los cambios relacionados con el agua corporal producidos en el organismo a elevada altitud, analizar las diferentes estrategias de hidratación que se aplican a deportistas que compiten o entrenan en estas condiciones y revisar cómo afecta el estado de hidratación en la aparición de Mal Agudo de Montaña.

Metodología: Se han realizado búsquedas bibliográficas en PubMed y Scopus. A una primera búsqueda se aplican criterios que se consideran oportunos. Finalmente se tienen en cuenta para la realización del trabajo 10 estudios.

Resultados: Durante el período de exposición hipóxica se producen cambios en el organismo que provocan una reducción de volumen plasmático. Esto se traduce en un aumento del ritmo cardíaco y osmolaridad de la sangre, de modo que el organismo consigue mantener un buen suministro de oxígeno. Estrategias que respetan este proceso de aclimatación están relacionadas con mejora de rendimiento y mejores adaptaciones a largo plazo.

Conclusión: Algunas de las adaptaciones más importantes a la altitud se relacionan con una reducción de agua corporal. Estrategias de hidratación demasiado agresivas podrían enlentecer la aparición de adaptaciones a largo plazo, así como favorecer la aparición de Mal Agudo de Montaña a corto plazo.

Palabras clave

Hidratación, Deshidratación, Altitud, Rendimiento y Mal Agudo de Montaña.

Abstract

Introduction: Stays in high altitudes are an effective method for improving sporting performance as the situation of hypoxia causes physiological adaptations that favour physical condition. At high altitude, there is a decrease in body water and this can significantly affect the performance of the training sessions carried out. Hydration strategies adapted to altitude are necessary for the correct assimilation of the training sessions.

Objective: The aim of this work is to analyse the changes related to body water produced in the organism at high altitude, to analyse the different hydration strategies applied to athletes competing or training in these conditions and to review how hydration status affects the appearance of Acute Mountain Sickness.

Methodology: Bibliographic research was made using PubMed and Scopus. Studies prior to 2011 were discarded in an initial search and different inclusion and exclusion criteria were applied as deemed appropriate. Finally, 10 studies were taken into account for the study.

Results: During the period of hypoxic exposure, a series of changes occur in the organism that cause a considerable reduction in plasma volume. This results in an increase in heart rate and blood osmolarity, thus the organism is able to maintain a good oxygen supply. Strategies that respect this acclimatisation process are associated with improved performance and better long-term adaptations.

Conclusion: The state of euhydration at high altitude increases the percentage change in body weight relative to sea level, so strategies that maintain a reduced plasma volume may achieve both long and short-term adaptations while maintaining good physical performance. Both hypohydration and overhydration are related to the onset of Acute Mountain Sickness.

Key words

Hydration, Dehydration, Altitude, Performance and Acute Mountain Sickness.

1 Introducción

Desde hace bastante tiempo, los deportistas utilizan las estancias en altitud para mejorar el rendimiento deportivo. España es un país con mucho relieve montañoso y con varios puntos de elevada altitud cercanos a urbes y zonas no demasiado despobladas y con un clima estable: Sierra Nevada, Pirineo o El Teide.

Muchos deportistas buscan aumentar su rendimiento físico utilizando las condiciones de hipoxia que ofrecen los centros de alto rendimiento situados en altitud. Dependiendo de la modalidad deportiva, varía el número de veces que se realizan estas estancias. Algunos deportes como el ciclismo o atletismo se suelen realizar 1 o 2 estancias en altitud anuales de 2 a 6 semanas de duración antes de una prueba competitiva o un bloque de carreras. En deportes de invierno o en los que se compite siempre a elevada altitud (esquí de fondo, maratón de montaña, alpinistas etc.) se suelen realizar estancias más largas o incluso es habitual que estos deportistas tengan su residencia en zonas elevadas.

1.1 Altitud

Se podría considerar baja altitud a aquella comprendida entre el nivel del mar y 1000m. En media altitud se sitúan áreas entre 1000 y 3000m. Justo en este rango de altitud se encuentran los centros de alto rendimiento, como el de Sierra Nevada. A 2500m hay un 25% menos de presión parcial de oxígeno que a nivel del mar [1]. De 3000 a 5500m se cataloga como alta altitud, mientras que más allá se encuentran las grandes cumbres como el Monte Everest. Se ha observado que la altitud óptima en la que más se generan adaptaciones y beneficios es entre 2000 y 2200m [2].

1.2 Adaptaciones fisiológicas que se producen en altitud

La presión de oxígeno disminuye conforme aumenta la altitud vertical sobre el nivel del mar. A esta condición se le llama hipoxia hipobárica. Existen otras técnicas en las que se simula una condición de hipoxia sin ascender a altitudes elevadas (hipoxia normobárica) como son las máscaras, cámaras o tiendas de campaña de hipoxia. Estas técnicas no pueden exponer al deportista a una condición de hipoxia permanente durante todo el día, si no durante un corto periodo de tiempo, por lo que no se sabe si producen los mismos efectos. Por tanto, las estancias en altitud son, hoy en día, la técnica más empleada por deportistas y equipos para producir mejoras en el rendimiento físico.

Precisamente estas adaptaciones del organismo en altitud se producen por dos razones. La primera, debido a la elevada carga de entrenamiento que realizan los deportistas. La segunda, por la condición especial de hipoxia. Ante la condición de hipoxia, la reducción de la saturación arterial de oxígeno (SaO₂) y la caída del volumen máximo de oxígeno inspirado (VO₂max), el organismo aumenta la ventilación con el fin de captar más oxígeno (Figura 1). Esto hace que se reduzca la concentración de dióxido de carbono (CO₂) sanguíneo y alcalinice levemente el plasma, ya que el CO₂ tiende a ser ácido. A eso se le llama alcalosis respiratoria (hipocapnia). Como el pH sanguíneo aumenta, los riñones producen una respuesta diurética excretando bicarbonato (junto agua y electrolitos) y consiguen estabilizar el pH de la sangre mientras se consigue un buen suministro de oxígeno. La cantidad notable de agua excretada proviene del plasma sanguíneo, por lo que una consecuencia de todo esto es la reducción considerable del volumen plasmático (VP) que se traduce en un aumento del ritmo (RC) y gasto cardíaco [3].

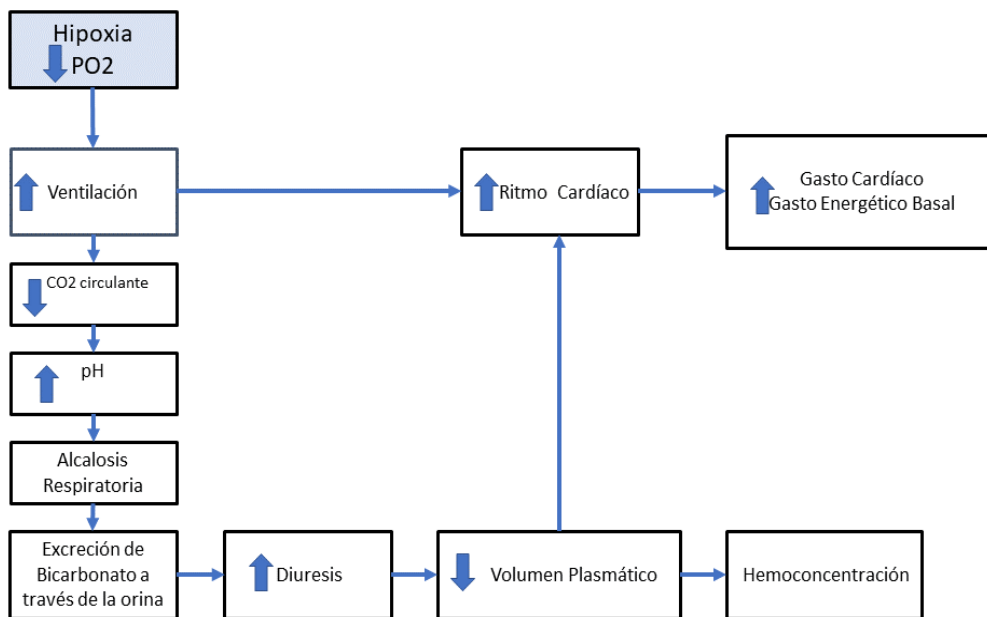


Figura 1: Cambios agudos que se producen en condiciones de hipoxia. Los cambios producidos implican al sistema cardiovascular, renal y respiratorio. El ritmo cardíaco es aumentado tanto por el incremento de la ventilación como de su consecuente reducción del volumen plasmático. Las consecuencias son el aumento del gasto cardíaco, gasto energético basal y hemoconcentración. Elaboración propia.

Esta reducción del VP hace aumentar la osmolaridad de la sangre, aumentando su viscosidad (más gasto cardíaco) y concentrando la hemoglobina (Hb). Este proceso forma parte del proceso de aclimatación a la altitud. A largo plazo, el organismo va produciendo más Hb y células de la serie roja (eritropoyesis), por lo que el PV va restableciéndose poco a poco. La hiperventilación se va reduciendo a medida que va avanzando la aclimatación lo que hace que se consiga un equilibrio ácido-base correcto. También se producen cambios a nivel metabólico, aumentando los transportadores intestinales de glucosa [4].

A medida que el deportista va enlazando año tras año estancias o competiciones en altitud, la cantidad y concentración de la Hb va aumentando progresivamente y puede suponer una mejora del rendimiento del 2%. Puede parecer una mejora muy leve, pero en el deporte de élite actual supone una delgada línea entre ganar y perder [2].

1.3 Deshidratación

Otra de las consecuencias de la exposición aguda a la altitud en deportistas es la deshidratación. Se define deshidratación como la pérdida del 2% del peso corporal debido a un déficit de agua [5]. La deshidratación en altitud se produce por diferentes motivos: aumento de la diuresis, aumento de la ventilación (hipoxia), reducción de la sensación de sed, la inspiración de aire seco (poco húmedo) y frío, aumento de la radiación solar y aumento del gasto energético basal [4]. Esta deshidratación se produce en detrimento del VP, es decir, se trata de una deshidratación hipovolémica en la que las pérdidas de agua a través de la orina suelen ser superiores a las pérdidas por sudoración. Esto forma parte del proceso de aclimatación [5].

La deshidratación es un factor limitante en el rendimiento físico. Una deshidratación que implique una reducción superior al 3% del peso corporal se traduce en una reducción de la resistencia aeróbica, capacidad cognitiva y termorregulación. En deshidrataciones superiores (5-4%) aparecen calambres y contracturas musculares, cefaleas y reducción de la fuerza muscular [6].

Un deportista deshidratado y en condiciones de hipoxia constante reduce su rendimiento deportivo y puede no ser capaz de asimilar correctamente los entrenamientos pautados por el entrenador [7]. Otra cuestión es el objetivo que buscan los preparadores físicos o entrenadores en dichas estancias en altitud y si se están orientando de forma correcta.

1.4 Estrategias de hidratación

Bebidas isotónicas

Las bebidas isotónicas son una herramienta ergogénica muy utilizada tanto en el deporte recreacional como a nivel élite. Existen muchas en el mercado, pero no todas cumplen con las premisas que les hacen ser una buena opción para la reposición hídrica [6]. A expensas de la cantidad de líquido que es óptimo a nivel individual, la calidad de este no deja de tener importancia. Las bebidas isotónicas se componen de carbohidratos de fácil asimilación y electrolitos. Los carbohidratos interesantes son aquellos con un gran peso molecular, pero con una osmolaridad baja: maltodextrina, ciclodextrina o amilopectina. También encontramos mono y disacáridos como glucosa y sacarosa (glucosa + fructosa). La fructosa suele añadirse en forma de sacarosa, pero también podemos encontrarla en forma de monosacárido. En cuanto a los electrolitos, es común ver en las etiquetas de bebidas isotónicas una amplia gama de minerales, pero el único que ha demostrado tener efectos positivos en el estado de hidratación es el sodio. Tanto los carbohidratos como el sodio, tiene una buena capacidad para retener agua. Esta es la característica principal que una bebida isotónica sea una buena opción para mantener un buen estado de hidratación. Según el consenso sobre bebidas para el deportista (Palacios et al [6]), la solución isotónica óptima durante el ejercicio debe tener no más de 9% de carbohidratos (90g/L) y entre 460 y 1150mg de sodio por litro.

Hidratación *Ad Libitum*

Este tipo de hidratación consiste en hidratarse según la sensación de sed, es decir, a demanda. Es muy utilizada a nivel deportivo recreacional, pero también la aplican muchos deportistas de élite. Si se utiliza bebidas electrolíticas se conseguirá minimizar las pérdidas de fluidos en comparación con la ingesta de agua sola, pero lo cierto es que la hidratación *ad libitum* no suele cubrir la totalidad de las pérdidas hídricas durante la práctica deportiva, sobre todo en ambientes calurosos [1]. En un ambiente frío como en la época invernal las pérdidas de fluidos asociadas a la sudoración se reducen, por lo que es muy probable que con una hidratación con agua *ad libitum* sea suficiente para mantener un buen estado de hidratación. Observar el volumen y color de la orina es una buena manera de valorar el estado de hidratación por parte del deportista.

La diferencia entre la hidratación con agua y bebidas isotónicas es que las soluciones preparadas consiguen retener más líquido corporal, aportar más electrolitos y mantener la osmolaridad del plasma. La ingestión de líquidos hipotónicos (agua) en ambientes

calurosos puede provocar la bajada de osmolaridad plasmática debido a que el líquido ingerido tiene menos osmolaridad que la sangre y se van perdiendo electrolitos a través de la sudor y orina. Esto puede dar lugar a hiponatremia, más conocida como “intoxicación por agua”. La hiponatremia aparece cuando la ingesta de líquidos (generalmente hipotónicos) es superior a la tasa de excreción renal [8].

Hidratación pautada y personalizada

La cantidad de líquido total que se recomienda en adultos europeos es de 2,5L para varones y 2L para mujeres. Teniendo en cuenta que los alimentos sólidos también contienen agua, la recomendación de agua en forma de líquido se quedaría en aproximadamente 1,5L [8].

Estrategias de hidratación individualizadas se han estudiado en los últimos años [9]:

- **Preentrenamiento:** Comúnmente, se recomienda entre 5-7 ml/kg de peso corporal 3-4 horas antes del esfuerzo. Si el color de la orina es oscuro, se procedería a aumentar 3 ml/kg adicionales. El tipo de bebida recomendada es de tipo hipotónica (agua).
- **Durante el entrenamiento:** Según la tasa de sudoración individual, que tiene en cuenta el cambio de peso corporal antes y después del esfuerzo, volumen de orina y volumen de líquido ingerido.
Se suele recomendar sorbos de 200ml cada 15-20 minutos.
El tipo de bebida utilizada variará dependiendo del tipo de ejercicio y de las condiciones climáticas. Normalmente se recomiendan bebidas isotónicas.
- **Post entrenamiento:** Utilizar bebidas hipertónicas. Recuperar el 150% del peso corporal perdido durante el ejercicio.

1.5 Mal Agudo de Montaña

El MAM es un proceso sintomatológico resultante del ascenso rápido a altas cumbres o altitudes cuando no existe previa fase de aclimatación. Los principales síntomas que suele presentar son: dolor de cabeza, fatiga, cansancio, aturdimiento e incluso alteraciones gastrointestinales [1].

La aparición de edemas se encuentra estrechamente relacionado con el MAM, produciendo acumulaciones de líquido intersticial con hipovolemia vascular. Se sospecha que tiene cierto componente genético, pero lo cierto es que es multifactorial [10].

Mientras que a altitudes moderadas el MAM es más probable en personas con poca condición física y no aclimatadas, en muy alta altitud es muy común en personas experimentadas. El tratamiento que se suele emplear es la toma de fármacos como la acetazolamida, dexametasona o ibuprofeno, pero hay que tener en cuenta que los dos primeros fármacos están prohibidos por la agencia mundial antidopaje (WADA). Por otro lado, el ibuprofeno presenta ciertos riesgos para la salud durante la práctica deportiva vigorosa de resistencia. Por tanto, una manera de paliar los síntomas de MAM de forma legal y segura es guardando reposo unos días hasta que el organismo se habitúe [1].

Aunque se ha dicho que el MAM es multifactorial, se encuentra muy relacionado con el estado de hidratación del deportista que sube a altitudes moderadas, altas y muy altas. Es posible que la ingesta excesiva de líquidos aumente la probabilidad de producir edemas, o que la ingesta insuficiente incremente los efectos negativos producidos por la ausencia de aclimatación [1].

1.6 Marco actual

Los campeonatos del mundo de Cross Country de 2015 y 2017 se celebraron en Guiyang (China) y Kampala (Uganda), respectivamente, ambos a unos 1200 metros sobre el nivel del mar [2]. Por otro lado, el ciclista belga Víctor Campenaerts posee el récord actual de la hora y lo consiguió en el velódromo de Aguascalientes (México) a 1800m de altitud. A esta altura, si no existe una adaptación previa, es posible que el rendimiento se vea implicado. Esto es un antecedente de que no solo los deportes de invierno se celebran en lugares con una altitud considerable. El entrenamiento en altitud es una realidad en casi todas las disciplinas deportivas y hacerlo bajo unas condiciones de hidratación y nutrición correctas es vital para una correcta asimilación.

Diferentes estrategias de hidratación se están estudiando en la actualidad en deportistas que compiten o entrenan en altitud ante la tendencia clara a la deshidratación. El objetivo de muchos estudios es comprender el funcionamiento del organismo ante diferentes tipos y dosis de líquidos.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general y secundarios

El objetivo principal de este trabajo es el siguiente:

Hacer una revisión bibliográfica para determinar cómo afecta la exposición aguda y temprana a la altitud a las necesidades hídricas de deportistas y la influencia que tiene en el rendimiento físico y en las adaptaciones producidas a largo plazo.

A partir del objetivo principal, se ha desarrollado varios objetivos secundarios:

- 1. Revisar, analizar y resumir los cambios fisiológicos producidos por la condición de hipoxia que influyen directa o indirectamente en el estado de hidratación en deportistas que entrenan o compiten en altitud.*
- 2. Evaluar las diferentes estrategias de reposición hídrica publicadas y estudiadas que permitan mantener un buen estado de hidratación en deportistas que compitan o entrenen en altitud.*
- 3. Estudiar y analizar si existe, o no, relación entre el estado de hidratación y la aparición de mal agudo de montaña y realizar recomendaciones hídricas con el fin de minimizar su aparición.*

2.2 Preguntas investigables

- ¿En deportistas, la exposición a una altitud vertical considerable, frente a alturas más cercanas al nivel del mar, producen cambios que afecten al estado de hidratación?
- ¿En deportistas que entrenan o compiten en altitud, el seguimiento de una pauta de hidratación específica tiene, frente una hidratación *ad libitum*, efectos considerables en términos de mejora del rendimiento físico o estado de hidratación?

3 Metodología

Para la realización de este trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva, siguiendo las indicaciones de las guías PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and and Meta-Analyses), en dos motores de búsqueda caracterizados por tener disponible un gran número de estudios y artículos de la rama de las ciencias de la salud: PubMed y Scopus.

3.1 Estrategia de búsqueda

Con el fin de acotar la temática del trabajo solamente a la hidratación en deportistas que entrenan en condiciones de altitud y no prolongarlo con estrategias nutricionales relacionadas con macronutrientes, micronutrientes, ingesta energética, suplementación de hidratos de carbono o proteínas o entrenamiento, se utilizaron ciertas palabras clave escritas en inglés: “Hydration”, “Organism Hydration Status”, “Dehydration”, “Beverage” y “Altitude”.

La estrategia de búsqueda en las dos bases de datos fue la siguiente: “hydration” OR “organism hydration status” OR “dehydration” OR “beverage” AND “altitude”.

3.2 Criterios de inclusión y exclusión

3.2.1 Criterios de inclusión

- Estudios que sean ensayos clínicos, experimentales y aleatorizados.
- Estudios en los que la muestra sean deportistas profesionales o aficionados que realicen actividad física en condiciones de hipoxia.
- Estudios en los que utilicen hipoxia hipobárica.
- Estudios en inglés o castellano.
- Estudios con texto completo disponible.

3.2.2 Criterios de exclusión

- Estudios anteriores a 2011.
- Artículos de opinión o reflexión.
- Artículos cuya muestra no realice ejercicio físico.
- Artículos cuya muestra sea sometida a hipoxia normobárica.
- Artículos cuya temática no sea la hidratación en condiciones de altitud.

3.3 Resultados de la búsqueda

En Scopus se encontraron 260 artículos y en PubMed 108. A esta primera búsqueda se le aplicó directamente el filtro de artículos no anteriores a 2011. A continuación, se procedió a detectar aquellos artículos que estaban duplicados en ambas bases de datos y se eliminaron 37 artículos. Después se aplicaron los criterios de exclusión e inclusión leyendo el título y resumen de los artículos. En total, se excluyeron 316 artículos quedando para leer el texto completo 15. Finalmente se ha tenido en cuenta para realizar esta revisión un total de 10 estudios (Figura 2).

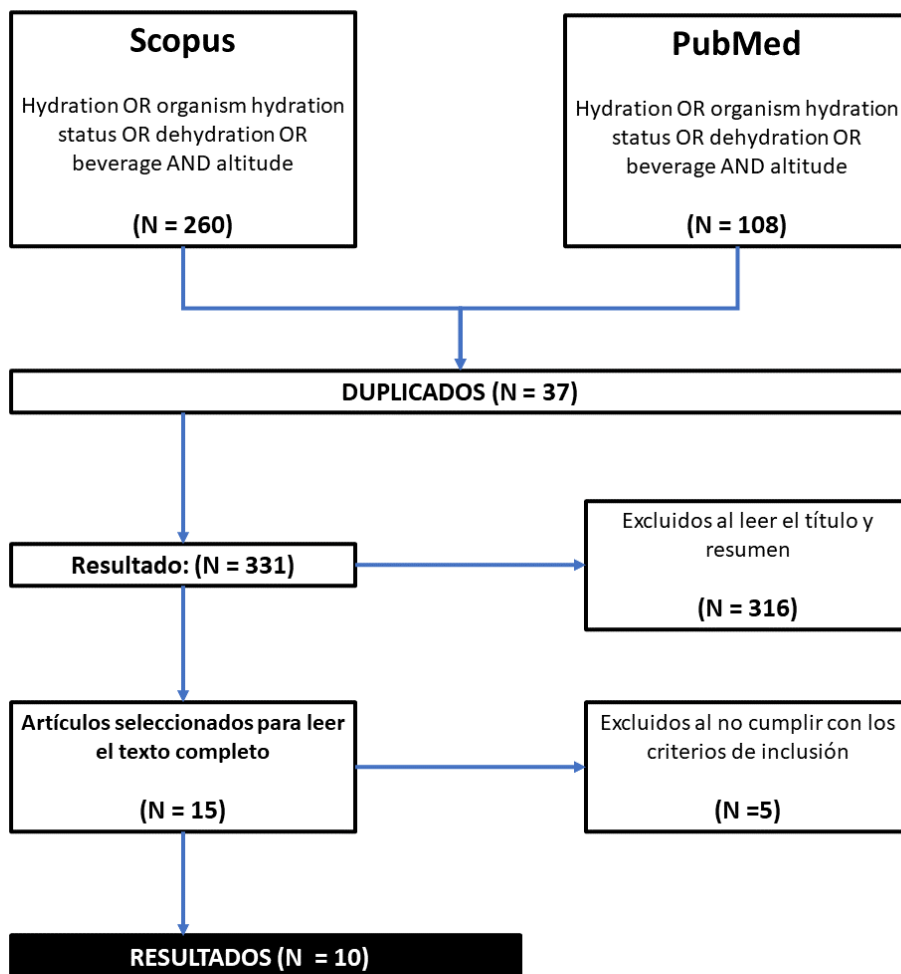


Figura 2: Diagrama de flujo PRISMA del proceso de búsqueda bibliográfica. Elaboración propia.

4 Resultados

Estudio	Muestra	Objetivo	Estrategia de hidratación	Resultados (CO: cambios producidos en el organismo; CRF: cambios en el rendimiento físico.)
Schlittler et al, 2021 [11]	11 sujetos varones sanos	Observar el comportamiento del volumen plasmático y compartimentos hídricos durante una exposición de 4 días en hipoxia hipobárica simulada a 3500m.	Cantidades de comida y bebida (agua) controladas e idénticas para todos los sujetos.	CO: Se produjo una reducción considerable (10%) del volumen plasmático sin diuresis ni cambios en el peso corporal. Se produjo una redistribución del agua intravascular hacia el agua extravascular. CRF: ND (No hay Datos)
Horiuchi et al, 2021 [12]	16 escaladores	Examinar los efectos producidos de la ingesta de una bebida con electrolitos y bicarbonato respecto al agua durante una ascensión rápida a 3000m.	Bebida con electrolitos + bicarbonato VS Agua. <i>Ambas Ad Libitum.</i>	CO: Se observó una reducción del ritmo cardíaco medio y un aumento en la reabsorción renal de bicarbonato en el grupo que bebió bebida con electrolitos y bicarbonato. CRF: No hubo diferencias en el tiempo de ascensión.
Horiuchi et al, 2017 [13]	23 escaladores	Comprobar si las bebidas isotónicas reducen el ritmo cardíaco medio durante una ascensión a 3000m.	Bebida isotónica VS Agua. <i>Ambas Ad Libitum.</i>	CO: Se redujo el ritmo cardíaco medio durante la parte final del ascenso en el grupo que ingirió bebida isotónica. Existe relación directa entre la pérdida de peso corporal y el aumento del ritmo cardíaco. CRF: ND
Ladd et al, 2016 [14]	121 escaladores	Examinar la importancia que tiene el estado de hidratación en el rendimiento físico de escaladores en altitud muy elevada.	Agua <i>Ad Libitum</i> con reservas limitadas de 2L.	CO: ND CRF: A pesar de que más de la mitad de la muestra se encontraban deshidratadas antes de afrontar el ascenso final, no hubo relación significativa entre el estado de hidratación y el éxito de cubre.

Estudio	Muestra	Objetivo	Estrategia de hidratación	Resultados (CO: cambios producidos en el organismo; CRF: cambios en el rendimiento físico.)
Gatterer et al, 2013 [15]	43 adultos sanos	Observar la relación existente entre la aparición de Mal Agudo de Montaña y el estado de hidratación en sujetos expuestos a 12 horas de altitud simulada.	<i>Comida y bebida controladas, idénticas para todos los sujetos.</i>	CO: Ante una misma ingesta de comida y bebida, se observa mayor retención de líquido en sujetos que padecieron MAM. La osmolaridad sanguínea, hematocrito (%) y SaO ₂ se redujeron. El VP aumentó en sujetos que padecieron MAM, pero se mantuvo en aquellos que no padecieron MAM. CRF: ND
Hydren et al, 2013 [16]	11 esquiadores adolescentes	Observar los cambios producidos en el rendimiento físico durante 6 días en altitud moderada-alta y su relación con el estado de hidratación.	Agua <i>Ad Libitum</i>	CO: Se produjeron cambios significativos en los marcadores de deshidratación entre los días 3 y 4, pero la hidratación <i>Ad Libitum</i> permitió mantener un estado de hidratación correcto. CRF: Se produjeron mejoras significativas en los diferentes ejercicios realizados al cabo de 6 días de exposición.
Siebenmann et al, 2013 [17]	7 sujetos sanos activos	Comprender el funcionamiento de la principal adaptación fisiológica en exposiciones agudas de hipoxia: reducción del volumen plasmático.	Agua <i>Ad Libitum</i> + posterior expansión del plasma sanguíneo.	CO: Se observó una reducción del VP y sistólico y aumento de la hemoconcentración a las 3 semanas de exposición a alta altitud. Tras la expansión del plasma sanguíneo se produjo un aumento considerable del volumen sistólico sin aparición de MAM. CRF: ND
Hailes et al, 2012 [18]	9 escaladores	Observar los cambios producidos en el peso corporal, temperatura y tasa de renovación de agua corporal durante una ascensión a 4400m.	Agua <i>Ad Libitum</i>	CO: Se observó una gran tasa de renovación de agua corporal pero los escaladores consiguieron mantener un buen estado de hidratación. CRF: ND

Estudio	Muestra	Objetivo	Estrategia de hidratación	Resultados (CO: cambios producidos en el organismo; CRF: cambios en el rendimiento físico.)
Norris et al, 2012 [19]	192 soldados del ejército de EEUU.	Identificar los factores que podrían influir en la aparición de Mal Agudo de Montaña, entre ellos, el estado de hidratación.	Agua <i>Ad Libitum</i>	<p>CO: La aparición de MAM como de dolor de cabeza provocado por la altitud se encontraban estrechamente relacionados con la deshidratación reportada por los soldados.</p> <p>La mayor aparición de MAM y dolor de cabeza por altitud fue en los días 2 y 3 mientras que se reduce en los siguientes días.</p> <p>CRF: ND</p>
Yanagisawa et al, 2012 [20]	16 esquiadores jóvenes	Observar las diferencias en los cambios fisiológicos producidos en esquiadores que ingieren 2 tipos de bebidas durante 4 días de estancia a 1800m.	Bebida isotónica VS Agua Cantidades diarias idénticas de ambas bebidas (2,5L).	<p>CO: Se vio que aquellos sujetos que bebieron bebida isotónica perdieron menos peso respecto aquellos que solo bebieron agua.</p> <p>CRF: ND</p>

4.1 Descripción detallada de los estudios

Schlittler et al, 2021 [11]

Los participantes de este estudio se introdujeron durante 4 días en una cámara hipobárica (tienda de campaña grande) que simulaba una altitud de 3500m y realizaban actividades del día a día. Se controlaron los factores que podían modificar el estado de hidratación y, por tanto, modificar los resultados: calorías y cantidad de agua ingerida. Se produjo una reducción del 6-14% en el VP, pero no del peso corporal, a pesar de que el sistema renina-angiotensina-aldosterona estaba inhibido. Tampoco se vio un aumento de la diuresis. Por otro lado, se produjo una reducción de proteínas plasmáticas. Este estudio concluye que existe cierto transporte de agua hacia el espacio extravascular en exposiciones agudas de hipoxia.

Una de las limitaciones de este estudio es que se trata de una simulación en altitud en tienda de campaña hipobárica. No se sabe a ciencia cierta cuáles son las diferencias entre los efectos producidos en una exposición en altitud real y simulada.

Horiuchi et al, 2021 [12]

Los escaladores de este estudio fueron separados en dos grupos: aquellos que bebían agua y aquellos que bebían bebida isotónica (2,5% carbohidratos; 1115 mg Na/L; 51 mg bicarbonato / 100 ml). Bebieron la misma cantidad de líquido. Aunque no hubo diferencias en el cambio de peso corporal entre ambos grupos durante la escalada de 3,5 horas, el volumen sistólico del grupo que bebía bebida isotónica + bicarbonato fue mayor debido a una corrección más rápida del VP. Como consecuencia, el RC fue menor en este grupo. No se observó ninguna diferencia significativa en el gasto energético durante la ascensión.

Por otro lado, se observa un aumento de la concentración de bicarbonato en orina y también de su reabsorción renal en el grupo de la bebida isotónica. Esto podría producir mayor efecto ergogénico tamponador pero no hubo diferencias entre el tiempo empleado para la ascensión. Por último, hubo dos casos de MAM en el grupo que bebió agua y ninguno en el grupo que bebió bebida electrolítica.

Horiuchi et al, 2017 [13]

Los sujetos de este estudio tenían que ascender y descender el Monte Fuji, a 3000m de altitud, y tardaron unas 10 horas. Los escaladores que bebieron bebida isotónica (6,2% carbohidratos; 490 mg / L) tuvieron cifras menores de RC que aquellos que bebieron agua. En cambio, el gasto energético no varió entre los dos grupos. Los datos mostraron una relación positiva entre la variación de peso producida por una reducción de VP y el aumento del RC. Parece que la hidratación con bebida isotónica minimiza la pérdida de fluidos y VP teniendo consecuencias leves en la variación de RC. Debido a la corta exposición a la altitud, no se refleja alteraciones en el rendimiento.

Ladd et al, 2016 [14]

En este estudio debían ascender al punto más alto de Alaska (6168m). Justo antes de encarar el último tramo de ascenso se sometieron a dos pruebas diagnósticas de deshidratación (ultrasonidos en la vena cava + gravedad específica de la orina (USG)) en el campamento base (4200m). Resultó que más de la mitad de los escaladores estaban deshidratados antes de encarar el último tramo, pero no hubo asociación estadística con el éxito de cumbre. Hay que tener en cuenta que este estudio cuenta con varios sesgos. El primero es que probablemente aquellos escaladores que no consiguieron coronar con éxito no lo notificaron. Tampoco se notificaron ciertos factores que pudieron condicionar el éxito de cumbre (como cierta sintomatología relacionada con el estado de hidratación). Además, aquellos que llegaron con sintomatología adversa al campamento base no participaron en el estudio (probablemente se encontraban deshidratados o con síntomas de MAM). Por último, hay que añadir que en la época que se realizó la expedición hizo un calor atípico y el porcentaje de éxito de cumbre aumentó un 20% en todos los alpinistas ese año.

Gatterer et al, 2013 [15]

En este estudio se comparaban datos del estado de hidratación de 43 sujetos que presentaban o no MAM. Para ello, se introdujeron en una cámara hipobárica que simulaba una altitud de 4800m. Tenían que permanecer dentro 12 horas. La incidencia de MAM fue de 46,5% sin diferencia entre sexos. Por otro lado, la comida y bebida fue

suministrada por igual a todos los sujetos y todos presentaron ingestas similares de líquido y sodio. La ingesta de líquido fue de 330-350 ml/h en ambos grupos.

Los resultados postulan que en aquellos que no padecieron MAM no se produjo ninguna disminución de PV, mientras que en aquellos que sí lo padecieron se produjo un aumento de PV. Los sujetos que padecieron MAM aumentaron ligeramente de peso mientras que aquellos que no padecieron MAM tendían ligeramente a perderlo. Los sujetos con MAM tuvieron un balance hídrico positivo ya que perdieron menos líquido en forma de orina (la ingesta de líquido fue idéntica). La diuresis en el grupo de MAM fue de 200 ml/h mientras que en el grupo que no padeció MAM fue de 310 ml/h. La osmolaridad sanguínea se redujo considerablemente, lo que afectó también al hematocrito (%) y a la SaO₂, ambos se redujeron. Una ingesta excesiva de líquido podría incrementar o empeorar estos efectos, según el estudio.

Hydren et al, 2013 [16]

La muestra tenía una edad media de 13-14 años y participaban en un campamento de entrenamiento donde dormían a 2800m y entrenaban a más de 3500m. El estudio duró 6 días y se midieron muchas variables relacionadas con el rendimiento e hidratación (peso corporal, USG y color de la orina). Estas variables mostraron mayores tasas de deshidratación en los días 3 y 4 de exposición, pero se restablecían los días posteriores. Además, los datos mostraron que a partir del día 6 las pérdidas de peso no se debían a reducciones del VP, sino a pérdidas de tejido graso y muscular, respaldando los resultados de otros estudios que muestran pérdidas de proteínas durante la exposición a altitud moderada-alta.

Los marcadores de deshidratación de los adolescentes entre los días 3 y 4 fueron relacionadas con una mejor percepción del entrenamiento por parte del entrenador, menos incidencia de MAM y mejor rendimiento locomotor. De cara al final del estudio se observaron mejoras en flexibilidad, resistencia, fuerza, velocidad y equilibrio en los jóvenes esquiadores. Por otro lado, la ingestión *Ad Libitum* de agua fue suficiente para mantener un buen estado de hidratación durante los 6 días.

Siebenmann et al, 2013 [17]

La muestra de este estudio estuvo 4 semanas a una altura de 3500m realizando ejercicio de manera recreativa. Se alimentaban y bebían *Ad Libitum*. Se realizaron mediciones antes de la exposición a la hipoxia y a las 2 y 3 semanas. Posteriormente se les aplicó una infusión de plasma al VP y se volvió a medir los cambios. La adición de VP bien podría simular una estrategia de hidratación orientada a frenar la reducción del VP ante la exposición a la altura.

Se observa un aumento típico de RC y gasto cardíaco tras la exposición en altitud en base a las mediciones realizadas a nivel del mar. Cuando se restablece el VP se produce un cambio drástico en el gasto cardíaco, ya que aumenta considerablemente, y se mantiene el RC. Esto puede deberse a un aumento del volumen sistólico, ya que al haber más volumen de líquido el corazón acoge más cantidad de sangre en cada latido. Aunque no se recogieron datos del rendimiento físico de los sujetos, se prevé que tras pasar 3 semanas se habría aumentado la concentración de Hb. El restablecimiento del VP no debería haber afectado al rendimiento físico de forma significativa.

Hailes et al, 2012 [18]

Los participantes del presente estudio subieron y bajaron en dos días el Monte Rainier (Estados Unidos) a 4400m. Durante la expedición se hidrataban *Ad Libitum* y se observaban cambios en la tasa de renovación de agua corporal, peso corporal y temperatura. Se vio que la tasa de renovación de agua corporal fue de 7,1 L / día, una cantidad comparable con el trabajo de bomberos en condiciones de calor extremo. También se comprobó que esta tasa de renovación fue suficiente como para mantener un estado de hidratación óptimo, ya que el peso corporal de los alpinistas se redujo de media un 1,4%.

Norris et al, 2012 [19]

Durante unas maniobras militares situadas a 2000-3300m se estudió la relación del MAM con diferentes factores, entre ellos el estado de hidratación. 192 soldados participaron en el estudio mediante la realización de entrevistas en las que el entrevistador cumplimentaba un cuestionario. En este cuestionario se analizaba la incidencia de MAM en relación con diversos factores: deshidratación, consumo de cafeína o nicotina, carga de trabajo, falta de sueño o consumo de ibuprofeno. El consumo de otros medicamentos relacionados con la reducción de síntomas de MAM estaba prohibido durante este estudio que duró una semana.

La incidencia de MAM fue de 14,6%, mientras que la de dolor de cabeza asociada a la altitud fue de 38,5%. Mayores incidencias se detectaron entre los días 2 y 3. A pesar de que todas las variables mencionadas influían en la aparición de MAM y dolor de cabeza, cuando se aislaba la variable del estado de deshidratación se veía que ésta estaba muy relacionada con la aparición de procesos sintomatológicos relacionados con el MAM y dolor de cabeza asociado a la altitud.

Yanagisawa et al, 2012 [20]

En este estudio se realizaron bastantes mediciones basales y al cuarto día de exposición a 1800m: cambios en el peso corporal, parámetros sanguíneos, urinarios, SaO₂ y RC. El estudio concluye que el grupo que ingirió bebida isotónica (4,7% carbohidratos; 345 mg Na/L) perdió la mitad de peso que el grupo que solo bebió agua. También se observa que existe una relación inversa entre la reducción del VP y el aumento de la diuresis. Además, el aumento de la aldosterona estuvo relacionado con reducciones del VP. Por tanto, la ingesta de 2,5 L de bebida isotónica diaria es suficiente para evitar una deshidratación severa a 1800m.

Es importante destacar que los datos mostraron una ligera tendencia a la hemodilución en el grupo que bebió bebida isotónica y a la hemoconcentración en el grupo que bebió solo agua, ya que se observó un aumento del VP en el primer grupo y una reducción de PV en el segundo.

4.2 Análisis de la muestra utilizada

Este análisis permite distinguir entre diferentes disciplinas deportivas que se exponen a altitud. En los estudios analizados participaban deportistas pertenecientes a deportes de invierno: esquiadores, escaladores o alpinistas. Hay cuatro estudios incluidos que no participaba deportistas si no sujetos sanos que practicaban deporte de forma recreativa o militares (Schlittler et al [11], Gatterer et al [15], Siebenmann et al [17] y Norris et al [19]).

Todos los estudios se realizaron con personas adultas, excepto un estudio (Hydren et al [16]) que se realizó con adolescentes que competían en esquí de fondo. Por otro lado, ninguna de las muestras estaba aclimatadas a la altitud antes de someterse a los estudios, pero es importante aclarar que un estudio (Yanagisawa et al [20]) no lo especifica.

Hay tres estudios analizados cuya muestra solo estaba compuesta por varones (Schlitter et al [11], Siebenmann et al [17] y Yanagisawa et al [20]). En el resto participaron tanto varones como mujeres.

4.3 Análisis del escenario utilizado

Aquí se valora a qué altitud se realizan los estudios analizados. Dos estudios (Norris et al [19] y Yanagisawa et al [20]) se realizaron a moderada altitud (1000-3000m). Cuatro estudios (Schlitter et al [11], Gatterer et al [15], Siebenmann et al [17] y Hailes et al [18]) se realizaron a alta altitud (3000-5500m). Otros tres estudios (Horiuchi et al [12 y 13] y Hydren et al [16]) se realizaron en un rango de altitud entre moderada y alta (1000-5500m). Por último, un estudio (Ladd et al [14]) se consiguió realizar a muy alta altitud (>5500m).

4.4 Análisis de la estrategia de hidratación utilizada

Se analizan las diferentes estrategias empleadas en los estudios (Figura 3). Mayoritariamente se han encontrado estudios que utilizan estrategias de hidratación con agua *ad libitum* (Ladd et al [14], Hydren et al [16], Siebenmann et al [17], Hailes et al [18] y Norris et al [19]). Por otro lado, dos estudios comparan la hidratación con agua y bebida isotónica (por separado, en dos grupos) *ad libitum* (Horiuchi et al [12 y 13]). Por

último, se analizan otros dos estudios en los que se ingieren cantidades controladas de agua y bebida isotónica (Schlitter et al [11], Gatterer et al [15] y Yanagisawa et al [20]).

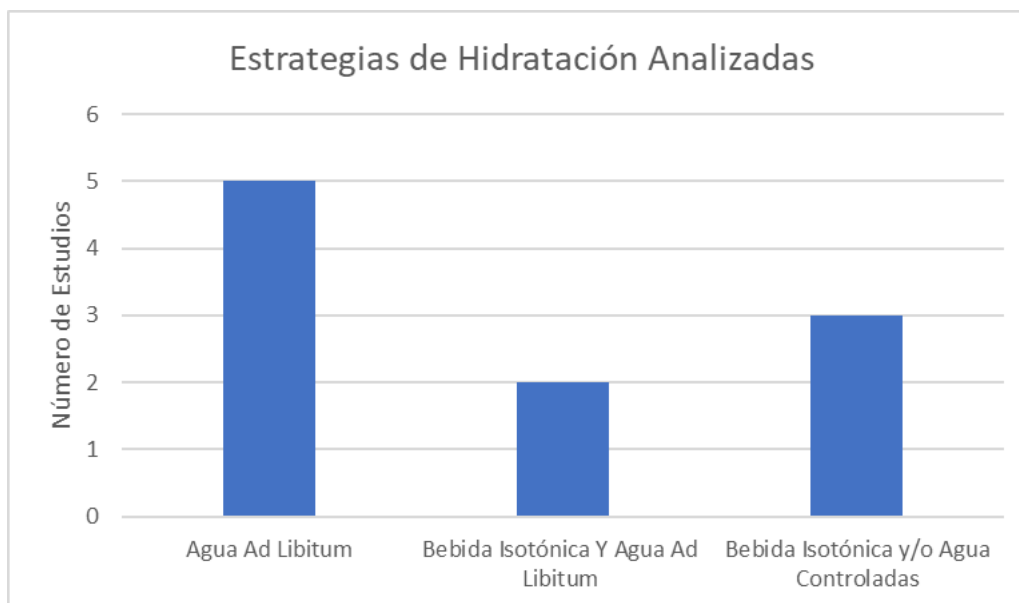


Figura 3: Número de estudios analizados separados por diferentes estrategias de hidratación. Elaboración propia.

5 Discusión

Este trabajo estudió los conocimientos existentes en la bibliografía publicada sobre la hidratación en deportistas que entrenan o compiten en altitud y cómo afecta a su rendimiento y a la aparición de MAM. Los resultados parecen indicar que la deshidratación causada por el proceso de aclimatación en altitud es beneficiosa y necesaria para el buen desarrollo de adaptaciones a largo plazo. La hidratación con agua *ad libitum* puede ser suficiente para mantener un buen estado de hidratación durante estancias o expediciones en altitud al mismo tiempo que permite generar adaptaciones fisiológicas con eficiencia. La aparición de MAM está relacionada con un estado de hipohidratación, pero también con una hidratación excesiva.

En lo que se refiere a los cambios en el estado de hidratación, existe cierto consenso entre los estudios incluidos en esta revisión. Diversos artículos [11, 12, 13, 16, 17, 20] muestran una reducción considerable del VP durante las primeras horas y días de exposición a la altitud, además de observarse un aumento de la diuresis y una reducción del peso corporal. Las carencias de VP halladas en los sujetos estudiados forman parte del proceso de aclimatación a la altitud. Tanto el VP como otros marcadores asociados con el estado de hidratación (USG, color de la orina o cambios en el peso corporal)

tienen una mayor aparición entre el segundo y cuarto día de exposición según varios estudios [16, 19, 20]. En estudios donde se utiliza una exposición hipóxica hipobárica simulada dichos efectos aparecen de manera más temprana [11, 15].

Ante una exposición a la altitud sin previa aclimatación, el organismo tiende a contraer el VP mediante diferentes procesos al cabo de los días con el fin de aumentar la osmolaridad sanguínea. Con esto se consigue un aumento de la concentración de Hb y hematocrito [17, 20] (Figura 4), así como un aumento del RC [11, 12, 13, 17, 20]. Algunos estudios coinciden en que ingestas elevadas de líquido ya sea agua o bebidas electrolíticas pueden interrumpir el vaciamiento del VP, produciendo el efecto contrario a la aclimatación, reduciendo la SaO₂ por hemodilución sanguínea [15, 17, 20].

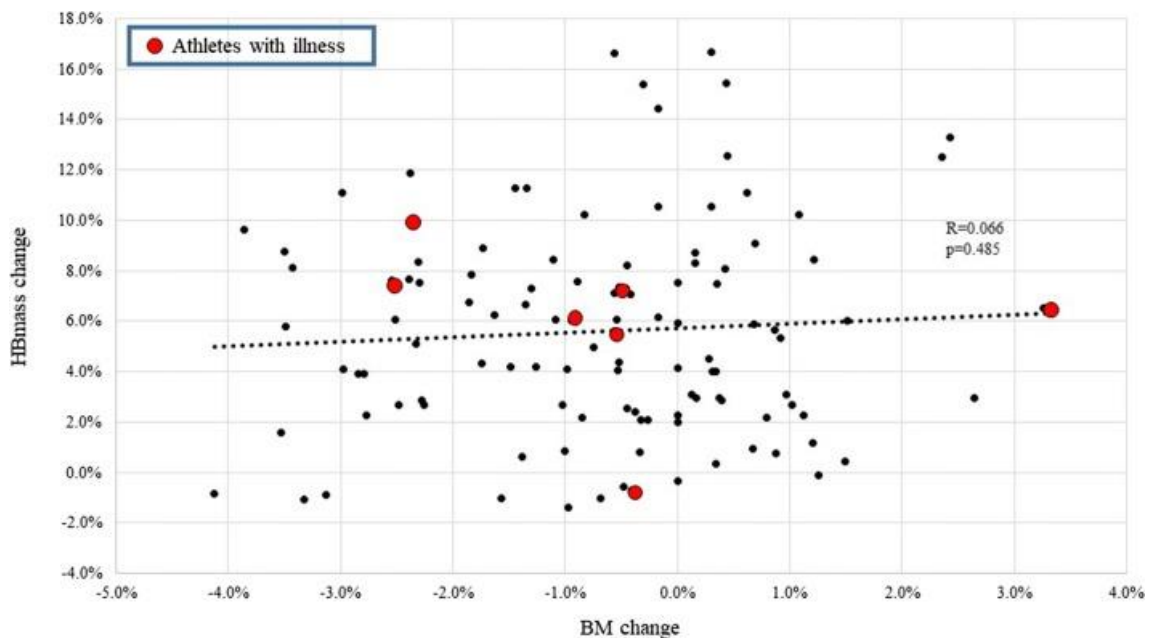


Figura 4: En esta gráfica se muestra la relación existente entre la pérdida de peso corporal (BM change) provocada en detrimento del VP y la concentración de la Hb (Hbmass change). A medida que se reduce el peso corporal, aumenta la osmolaridad sanguínea y se produce una hemoconcentración (Stellingwerff et al, 2019) [4]. Con permiso del autor: tstellingwerff@csipacific.ca

Es necesario diferenciar entre estancias en altitud prolongadas y expediciones donde la exposición hipóxica dura horas o pocos días. En esta última situación no se busca generar adaptaciones si no rendimiento instantáneo para coronar una cumbre, por ejemplo. Deshidrataciones leves se observaron en algunos estudios, pero coinciden en que no hay relación entre ésta y la bajada de rendimiento [12, 14, 17]. La hiperventilación y diuresis aumentada consigue incrementar la osmolaridad plasmática y por consiguiente mantener la SaO₂ y rendimiento físico a pesar de que repunte el RC. La

ingesta de bebidas electrolíticas produce una mayor reposición de líquidos lo que puede ocasionar una reducción de la SaO₂ [1, 6, 10]. Lo mismo podría ocurrir con volúmenes de agua elevados. Algunas revisiones bibliográficas recomiendan un aumento de la hidratación en altitud hasta ingestas de 7L [3] poco a poco aparecen estudios nuevos que defienden una estrategia hídrica moderada [1, 4, 10]. Además, estudios incluidos en la presente revisión coinciden en que permitir una deshidratación leve (2-3%) puede ser beneficioso para el rendimiento físico tanto en expediciones cortas como para la generación de adaptaciones a largo plazo [16, 17, 18, 20].

En cuanto a la aparición de MAM y su relación con el estado de hidratación, existe bastante dualidad. Su incidencia es multifactorial y controlar todos los factores es una tarea difícil. Los individuos adaptados a la altitud o con una condición física avanzada tienen menos probabilidad de padecer MAM y no parece haber diferencia entre sexos [10, 16, 19]. Sí que hay diferencia en la manifestación de sintomatología según la altitud, siendo que en altitudes altas y muy altas es común la aparición de edemas (acumulación de líquido extracelular). Aquí juega un papel importante la hidratación ya que estrategias de hidratación agresivas pueden exacerbar la aparición de edemas y MAM. Ingestas de agua moderadas manteniendo un estado de deshidratación leve podrían prevenir el MAM en altitudes altas y muy altas según algunas revisiones [1, 4, 10] y estudios incluidos en el trabajo [14, 15, 16, 18]. Por otro lado, también hay evidencia que relaciona estados de deshidratación con aparición de síntomas relacionados con MAM [19]. Tanto la aparición de edemas como de sintomatología adversa de MAM producen una reducción de rendimiento físico para el deportista que se expone a altitud. Por eso es importante monitorizar el estado de hidratación durante este período con el fin de mantener un equilibrio idóneo teniendo en cuenta que tanto un exceso como déficit de hidratación pueden aumentar la probabilidad de padecer MAM.

Este trabajo de revisión presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la mayoría de los estudios seleccionados tienen muestras muy pequeñas, algunas inferiores a 10 sujetos. Solo dos estudios cuentan con muestras superiores a 100 personas. Esto dificulta la extrapolación al resto de la población. Siguiendo con las muestras utilizadas, ninguna de ellas cuenta con deportistas de élite. En todas participan sujetos varones y mujeres activos, pero no profesionales.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es que en algunos estudios se utilizan cámaras de hipoxia hipobárica. Esto se contrapone con el resto de los estudios que sí que ascendieron a altitudes elevadas. No se sabe si las cámaras de hipoxia pueden tener resultados diferentes, lo que sí está claro es que son escenarios distintos.

Por otro lado, solo un estudio evalúa los efectos de cierta estrategia de hidratación a largo plazo (un mes). No se ha encontrado estudios que comparen diferentes estrategias de hidratación a largo plazo para comparar cómo afecta a la generación de adaptaciones beneficiosas para el rendimiento deportivo. La gran mayoría de estudios tienen una duración corta de entre horas y unos pocos días. Esto provoca que solo se pueda evaluar los cambios agudos.

Hay estudios que no especifican el grado de deshidratación (representado en porcentaje de peso perdido) de los sujetos expuestos. Es un dato bastante útil para valorar el cómputo entre rendimiento físico y estado de hidratación. En cambio, se aportan otros parámetros que, sin ser tan intuitivos, también aportan información.

Existen muchos estudios publicados acerca el rendimiento físico o nutrición y la altitud, pero no sobre la relación entre hidratación y altitud; es por eso por lo que el número de estudios encontrados ha sido bajo. Muchos estudios se centran en los efectos que tienen diferentes estrategias ergogénicas pero muy pocos, que tratan un tema básico como la hidratación de un deportista. Por eso, es necesario que se publiquen estudios que traten sobre este tema en concreto.

6 Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación

Los resultados obtenidos a partir de los estudios seleccionados han permitido formular una serie de opiniones, pero se encuentran ciertas limitaciones. A expensas de muestras pequeñas y sin deportistas profesionales, los estudios examinados tienen muy corta duración. Esto hace que no se pueda comprobar los efectos que producen diferentes estrategias de hidratación sobre las adaptaciones fisiológicas a la altitud a largo plazo. La intervención propuesta a continuación debería de resolver estas limitaciones con el fin de mostrar nuevos resultados.

6.1 Diseño y tipo de estudio

El estudio será del tipo observacional longitudinal y tendrá una duración de 6 semanas, que es el tiempo en que tarda en producirse las adaptaciones a la altitud al completo. La altitud será similar a 2200 - 2500m (Sierra Nevada en Granada o Port d'Envalira en Andorra). Se compararían dos grupos: aquellos que lleven una hidratación *ad libitum* y aquellos que sigan una pauta de hidratación agresiva orientada a evitar la pérdida de peso asociada al proceso de aclimatación. Los parámetros observados serían aquellos

relacionados con el estado de hidratación, hematológicos, rendimiento físico, cognitivo y sintomatología de MAM.

6.2 Población diana

La muestra del estudio serán deportistas de élite que no estén acostumbrados a competir en condiciones de altitud (ciclistas, maratonianos, nadadores etc.). Se intentará que la muestra sea superior a 100 deportistas con ambos sexos y los resultados se separarán por disciplinas dado que cada una requiere diferentes necesidades hídricas. La mitad de ellos llevarán una hidratación *ad libitum* y la otra mitad llevará una estrategia hídrica más aguda con el fin de evitar lo máximo posible una pérdida de peso superior al 1%.

6.3 Sistema de recogida de datos

Se recogerán datos en 4 ocasiones distintas durante las 6 semanas de estudio:

- Una semana antes de la exposición a altitud.
- Primera semana.
- Tercera semana.
- Final de la estancia en altitud (sexta semana).

Las pautas de hidratación y alimentación, así como resultados relacionados se gestionarán por parte de profesionales de la nutrición (Dietistas Nutricionistas). Los análisis de sangre serán llevados a cabo por profesionales sanitarios cualificados. Los entrenamientos y los resultados de las pruebas físicas se llevarán a cabo de forma coordinada por parte de profesionales de la actividad física.

6.4 Variables del estudio

- Parámetros hematológicos: Hematocrito, concentración de Hb, SaO₂, pH sanguíneo, concentración de bicarbonato.
- Rendimiento físico: prueba de esfuerzo en cicloergómetro o cinta de correr (VO₂max) con posibilidad de realizar test de sustratos.
- Rendimiento cognitivo: pruebas de tiempo de reacción y reflejos realizadas en Quickboard.
- Marcadores de hidratación: Volumen plasmático (fórmula de Van Beamont), USG, color de la orina, porcentaje de cambio de peso (el grupo que no realiza una estrategia de hidratación *ad libitum* deberá controlar este parámetro diariamente).

- Medición de MAM: cuestionario de autoevaluación Lake Louise. Este parámetro se evaluará de forma diaria durante la primera semana.

6.5 Consideraciones éticas

El estudio será aceptado por el comité ético de la universidad pertinente y se entregará un consentimiento informado a cada participante sobre el tratamiento confidencial de los datos personales. Los participantes deberán firmar dicho consentimiento.

7 Conclusiones

Las recomendaciones de hidratación en deportistas en condiciones de hipoxia que encontramos en muchos estudios pueden ser demasiado generales y excesivas. Estrategias de hidratación que se adapten al proceso de aclimatación en altitud pueden suponer una mejora del rendimiento físico a largo y corto plazo. Estados de sobre e hipohidratación en altitud pueden favorecer la aparición de MAM.

A partir de la evidencia extraída de los estudios examinados en este trabajo, se procede a realizar una serie de recomendaciones sobre la hidratación en deportistas que entrenan y compiten en altitud.

- 1- Evitar corregir la reducción de peso corporal provocada por la pérdida de líquido vascular a través de estrategias de hidratación agresivas en etapas tempranas de exposición a altitud puede ser beneficioso para el mantenimiento de la concentración de hemoglobina y del rendimiento deportivo.
- 2- Se podría considerar deshidratación a partir de 2-4% de cambio en el peso corporal. Mientras el porcentaje de peso corporal perdido no supere este valor, el organismo se encontrará en estado de euhidratación en condiciones de hipoxia constante.
- 3- La cantidad de líquido diario ingerido en altitud dependerá del tipo de deporte que se realice, de las condiciones climáticas, la tasa de sudoración del deportista y del cambio de peso asociado a la reducción de volumen plasmático.

- 4- La hidratación con agua *ad libitum* es considerada buena estrategia para mantener un buen estado de hidratación mientras se consiguen adaptaciones a medio-largo plazo, siempre y cuando la tasa de sudoración no sea demasiado alta debido a las condiciones climáticas.
- 5- La hidratación planificada con bebidas isotónicas durante los entrenamientos en altitud es buena opción para soportar el volumen de trabajo y mantener un buen estado de hidratación en ambientes calurosos.
- 6- Estrategias de hidratación muy agresivas pueden hacer aumentar la probabilidad de aparición de MAM, edemas o hiponatremia, mientras que un estado de hipohidratación podría provocar la aparición de sintomatología relacionada con el MAM.

8 Bibliografía

1. Trease L & Singleman G. Hydration Strategies for Physical Activity and Endurance Events at High (2500m) Altitude: A Practical Management Article. *Clin J Sport Med.* 2021; 00: 1-7.
2. Saunders P, Garvican-Lewis L, Chapman R & Periard J. Special Environments: Altitude and Heat. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019; 29(2): 210-219.
3. Michalczyk M, Czuba M, Zydek G, Zajac A & Langfort J. Dietary Recommendations for Cyclist During Altitude Training. *Nutrients.* 2016; 8(6): 377.
4. Stellingwerff T, Peeling P, Garvican-Lewis L, Hall R, Koivisto A, Heikura I & Burke L. Nutrition and Altitude: Strategies to Enhance Adaptation, Improve, Performance and Maintain Health: A Narrative Review. *Sports Med.* 2019; 49(2): 169-184.
5. Sawka M, Cheuvront S & Kenefick R. Hypohydration and Human Performance: Impact and Physiological Mechanisms. *Sports Med.* 2015; 45(1): 51-60.
6. Palacios N, Franco L, Manonelles P, Manuz B & Villegas JA. Consenso sobre Bebidas para el Deportista. Composición y Pautas de Reposición de Líquidos. *Federación Española de Medicina del Deporte.* 2008; 126 (25): 245- 258.
7. Castellani J, Muza S, Cheuvront S, Sils I, Fulco C, Kenefick R, Beidleman B & Sawka M. Effect of Hypohydration and Altitude Exposure on Aerobic Exercise Performance and Acute Mountain Sickness. *J Appl Physiol (1985).* 2010; 109(6): 1792-1800.
8. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA); Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA Journal.* 2010; 8(3):1459.
9. Meyer F, Weldon B & Wilk B. *Nutrition and Enhanced Sports Performance.* Academic Press; 2013. Chapter 38, Water, Hydration and Sports Drink; p 377-384.
10. Goldfarb-Rumyantzev A & Alper S. Short Term Responses of the Kidney to High Altitude in Mountain Climbers. *Nephrology Dialysis Transplantation.* 2014; 29(3): 497-506.
11. Shlitter M, Gatterer H, Turner R, Regli I, Woyke S, Strapazzon G, Rasmussen P, Kon M, Mueller T, Goetze J, Maillard M, Hall G, Feraille E & Siebenmann Ch. Regulation of Plasma Volume in Male Lowlanders During 4 Days of Exposure to Hypobaric Hypoxia Equivalent to 3500 m Altitude. *Journal of Physiology.* 2021; 599(4): 1083-1096.
12. Horiuchi M, Hasegawa T & Nose H. Effect of Carbohydrate-Electrolyte Solution Including Bicarbonate Ion Ad Libitum Ingestion on Urine Bicarbonate Retention

- during Mountain Trekking: A Randomized, Controlled Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18, 1441.
13. Horiuchi M, Endo J, Kondo K, Uno T, Morikawa M and Nose H. Impact of Carbohydrate-Electrolyte Beverage Ingestion on Heart Rate Response While Climbing Mountain Fuji at 3000m. *Biomed Res Int*. 2017; 3919826.
 14. Ladd E, Shea K, Bagley P, Averbach P, Pirrotta E, Wong E & Lipman G. Hydration Status as a Predictor of High-Altitude Mountaineering Performance. *Cureus*. 2016; 8(12): 918.
 15. Gatterer H, Wille M, Faulhaber M, Lukaski H, Melmer A, Ebenbichler C & Burtscher M. Association between Body Water Status and Acute Mountain Sickness. *PloS One*. 2013; 8(8): e73185.
 16. Hydren J, Kraemer W, Volek J, Dunn-Lewis C, Comstock B, Szivak T, Hooper D, Denegar C & Maresh C. Performance Changes During a Weeklong High-Altitude Alpine Ski-racing Training Camp in Lowlander Young Athletes. *J Strength Cond Res*. 2013; 27(4): 924-937.
 17. Siebenmann Ch, Hug M, Keiser S, Muller A, van Lieshout J, Rasmussen P & Lundby C. Hypovolemia Explains the Reduced Stroke Volume at Altitude. *Physiol Rep*. 2013; 1(5).
 18. Hailes W, Cuddy J, Slivka D, Hansen K & Ruby B. Water Turnover and Core Temperature on Mount Rainier. *Wilderness Environ Med*. 2012; 23(3): 255-259.
 19. Norris J, Viirre E, Aralis H, Sracic M, Thomas D & Gertsch J. High Altitude and Acute Mountain Sickness at Moderate Elevations in a Military Population During Battalion-Level Training Exercises. *Military Medicine*. 2012; 177(8): 917.
 20. Yanagisawa K, Ito O, Nagai S & Onishi S. Electrolyte-Carbohydrate Beverage Prevents Water Loss in the Early Stage of High Altitude Training. *J Med Invest*. 2012; 59(1-2); 102-110.

ANEXO I. ABREVIATURAS

SaO₂: Saturación arterial de oxígeno.

VO₂max: Volumen máximo de oxígeno inspirado.

CO₂: Dióxido de carbono.

VP: Volumen plasmático.

RC: Ritmo cardíaco.

Hb: Hemoglobina.

MAM: Mal agudo de montaña.

USG: Gravedad específica de la orina.

ND: No hay datos.