



Estado de hidratación y respuesta cardiorrespiratoria durante una prueba de course navette en deportistas universitarios a distintas altitudes

Hydration status and cardiorespiratory response during a course navette test in university athletes at different altitudes

Cardona-Carvajal, MA^{12ABC}; Patiño-Zuluaga, KV^{12ABC}; Quintero-Medina, HA^{12ABC}, Calderón-Bonilla, V^{12ABC}; Sánchez-Muñoz, OE^{12ABCDF}; García-Cardona, DM^{123ABCDF}

¹ Universidad del Quindío, Colombia, mariaaa.cardonac@uqvirtual.edu.co (MA. C-C); kpatinoz@uqvirtual.edu.co (KV. P-Z); hubera.quinterom@uqvirtual.edu.co (HA. Q-M); vcalderon@uniquindio.edu.co (V. C-B); oesanchez@uniquindio (OE. S-M); dmgarcia@uniquindio.edu.co (DM. G-C).

² Grupo de Investigación de Fisiología en la Actividad Física y la Salud (GIFAS). Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes, Colombia, mariaaa.cardonac@uqvirtual.edu.co (MA. C-C); kpatinoz@uqvirtual.edu.co (KV. P-Z); hubera.quinterom@uqvirtual.edu.co (HV. Q-M); calderon@uniquindio.edu.co (V. C-B); oesanchez@uniquindio (OE. S-M); dmgarcia@uniquindio.edu.co (DM. G-C).

³ Grupo de Investigación en Bioquímica de Enfermedades Cardiovasculares y Metabólicas (GECAVYME), Colombia, dmgarcia@uniquindio.edu.co (DM. G-C).

Responsabilidades. (A Diseño de la investigación; B Recolector de datos; C Redactor del trabajo; D Tratamiento estadístico; E Apoyo económico; F Idea original y coordinador de toda la investigación)

Recibido el 12 de junio de 2025

Aceptado el 9 de diciembre de 2025

DOI: 10.24310/riccafd.14.3.2025.21995

Correspondencia: Diana María García Cardona. dmgarcia@uniquindio.edu.co

RESUMEN

El ejercicio en diferentes altitudes genera respuestas fisiológicas diversas, afectando el rendimiento, la percepción del esfuerzo y el estado de hidratación. El estudio tuvo como objetivo establecer el comportamiento del estado de hidratación en deportistas universitarios durante una prueba de potencia aeróbica máxima a diferentes altitudes. La investigación fue cuantitativa, descriptiva y de corte longitudinal en donde participaron 24 hombres deportistas universitarios. El estudio se realizó en altitud baja (323 msnm), media (1458 msnm) y alta (2100 msnm). Las variables analizadas fueron el consumo máximo de oxígeno, percepción del esfuerzo y estado de hidratación. Dentro de los principales resultados se observan diferencias significativas en el VO₂máx entre

baja y media altitud, con valores más altos a menor altitud. La percepción del esfuerzo aumentó a mayor altitud. En cuanto a la hidratación, los valores basales reflejaron deshidratación severa, mejorando tras el desayuno y el ejercicio. Sin embargo, 60 minutos posprueba, volvió a presentarse deshidratación.

PALABRAS CLAVE: altitud, hidratación, consumo máximo de oxígeno, deportistas universitarios.

ABSTRACT

Exercising at different altitudes generates diverse physiological responses, affecting performance, perception of exertion, and hydration status. The study aimed to determine the behavior of hydration status in university athletes during a maximal aerobic power test at different altitudes. The study was quantitative, descriptive, and longitudinal. 24 male university athletes participated. The study was conducted at low (323 meters above sea level), medium (1,458 meters above sea level), and high (2,100 meters above sea level) altitudes. The variables analyzed were maximum oxygen consumption, perception of exertion, and hydration status. The main results showed significant differences in $\text{VO}_{2\text{max}}$ between low and medium altitudes, with higher values at lower altitudes. Perception of exertion increased at higher altitudes. Regarding hydration, baseline values reflected severe dehydration, improving after breakfast and exercise. However, 60 minutes after the test, dehydration reappeared.

KEY WORDS: altitude, hydration, Maximum oxygen consumption, college athletes.

INTRODUCCIÓN

Colombia, con su notable diversidad geográfica, alberga anualmente los Juegos Nacionales Universitarios, un evento itinerante que desafía a los deportistas a competir en diversos entornos con variaciones significativas en altitud, temperatura y humedad relativa. Estas fluctuaciones ambientales presentan un reto considerable, ya que influyen directamente en la pérdida de líquidos y electrolitos durante la actividad física intensa (1), afectando potencialmente el rendimiento deportivo y la salud general del atleta (2).

El problema radica en que muchos deportistas universitarios participan en estas competiciones sin una adecuada planificación y estrategia de hidratación, lo que aumenta el riesgo de iniciar la actividad en estado de hipohidratación. Este estado puede perpetuarse durante toda la jornada competitiva y afectar negativamente su rendimiento. La falta de información o educación sobre estrategias de reposición hídrica y electrolítica es común entre este grupo poblacional, y las condiciones ambientales extremas, como la altitud elevada o el calor, agravan el riesgo de deshidratación.

Desde una perspectiva competitiva, es esencial que los deportistas no solo desarrollen sus habilidades técnicas y tácticas, sino que también fortalezcan

sus capacidades físicas (3). Un adecuado manejo de estos aspectos no solo mejora el desempeño deportivo, sino que también contribuye a una formación integral de los atletas, permitiéndoles enfrentar con mayor preparación los desafíos de la competencia.

El mantenimiento de un equilibrio adecuado de electrolitos, particularmente del sodio, es crucial durante el ejercicio, ya que este mineral se pierde en grandes cantidades a través del sudor. Una reposición oportuna de sodio y otros electrolitos es esencial para prevenir la deshidratación (4), preservar el rendimiento físico y mental, y garantizar la seguridad del deportista. Estudios recientes destacan la importancia de comenzar la actividad en un estado de euhidratación y minimizar la hipohidratación durante el ejercicio (5-8). Además, las pérdidas de líquidos y electrolitos deben reponerse completamente antes de la siguiente sesión de actividad física para evitar la acumulación de fatiga y posibles complicaciones.

El ejercicio, especialmente en condiciones de calor o altitud elevada, altera agudamente el equilibrio de líquidos y electrolitos del cuerpo. Según Belval et al (9), estas alteraciones desafían la capacidad del deportista para alcanzar un rendimiento óptimo y mantener la seguridad durante la actividad física. Sin embargo, es común que los deportistas lleguen tanto a las sesiones de entrenamiento como a las competiciones en un estado de hipohidratación, perpetuando esta condición y aumentando el riesgo de deshidratación crónica (10-12).

En escenarios de altitud, el equilibrio hídrico del deportista se ve comprometido por una serie de mecanismos fisiológicos inducidos por la hipoxia. La exposición aguda a la altitud se asocia con un aumento de la ventilación minuto, lo que incrementa las pérdidas insensibles de agua a través de la vía respiratoria, incluso en ausencia de sudoración excesiva. De manera concomitante, se presenta la denominada diuresis por altitud, caracterizada por un aumento en la excreción urinaria, atribuida a alteraciones en la regulación hormonal del balance hídrico, particularmente a una disminución de la secreción de la hormona antidiurética (ADH) y cambios en la actividad de la aldosterona. Estos ajustes afectan la activación de los osmoreceptores y barorreceptores, reduciendo la sensación de sed y favoreciendo estados de hipohidratación no percibida. Estudios han demostrado que la hipoxia puede alterar la respuesta de sed y la conservación de líquidos, incrementando el riesgo de iniciar el ejercicio en condiciones subóptimas de hidratación y comprometiendo el rendimiento físico y la seguridad del deportista, especialmente durante esfuerzos aeróbicos máximos (13).

En el contexto de las crecientes demandas de las competiciones universitarias, el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{máx}$) se posiciona como un indicador clave del estado cardiorrespiratorio. Este parámetro mide la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber y utilizar por unidad de tiempo, un aspecto fundamental para el rendimiento en pruebas de potencia aeróbica máxima. Además, la percepción del esfuerzo (PE) es un factor

determinante del rendimiento, ya que influye en el comportamiento del deportista durante las distintas fases de la competencia (14).

A pesar del avance en el estudio de la hidratación y el rendimiento en condiciones ambientales variables, persisten lagunas relevantes en la literatura científica. En particular, existe una ausencia de estudios con diseño intra-sujeto que evalúen, en una misma cohorte de deportistas universitarios, la interacción entre altitud y distintos momentos del estado de hidratación (pre, durante y post ejercicio), empleando pruebas de terreno estandarizadas que permitan analizar de manera integrada sus efectos sobre variables fisiológicas y perceptuales asociadas al rendimiento.

Dada esta información, la presente investigación tuvo como objetivo establecer el comportamiento del estado de hidratación en deportistas universitarios durante una prueba de potencia aeróbica máxima (test de Course Navette) a diferentes altitudes.

MATERIAL Y METODOS

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y corte longitudinal. Se empleó un muestreo intencional, seleccionando como sujetos de estudio a 24 hombres deportistas universitarios (edad promedio de $22,08 \pm 3,34$ años) de una universidad pública de Colombia.

Para establecer el tamaño muestral, fueron utilizados algunos valores de referencia como insumo para el software Glimmpse (15), el cual es usado para determinar tamaños de muestra o en su defecto la potencia obtenida dado un tamaño de muestra en modelos lineales. A través de este software fue posible identificar que con el tamaño de muestra propuesto se obtiene una potencia mayor a 0,80, lo que indica que este tamaño ($n=24$) fue adecuado para el estudio planteado.

Todos los participantes eran deportistas activos, sin diagnóstico de enfermedades, sin lesiones, con la capacidad de alcanzar al menos el nivel 10 en el test de Course Navette (CN), y habitar la ciudad Armenia (1458 msnm), Colombia, por lo menos cuatro meses antes de la participación en el proyecto.

Como criterios de exclusión se consideraron la presencia de patologías agudas o crónicas, independientemente de la existencia de tratamiento farmacológico, así como la inclusión de mujeres. La investigación se desarrolló exclusivamente en varones con el propósito de reducir la variabilidad fisiológica asociada a las diferencias sexuales, las cuales podrían actuar como factores de confusión en la interpretación del estado de hidratación y su relación con el rendimiento físico en condiciones de altitud. En particular, se buscó evitar la influencia de variables hormonales, como las fluctuaciones propias del ciclo menstrual, que pueden modificar la regulación del equilibrio hídrico, la respuesta a la hipoxia y el comportamiento fisiológico durante el ejercicio.

Antes de su participación en el estudio, firmaron voluntariamente el consentimiento informado, asegurando su conformidad con los procedimientos de investigación.

Variables

Masa

Para la valoración de la masa, se siguieron los lineamientos de la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) (16).

Estado de hidratación

El estado de hidratación se evaluó mediante la gravedad específica de la orina (GEO), utilizando un refractómetro manual (ATAGO MASTER-SUR/Na, Bellevue, Washington, USA. Con compensación automática de temperatura) (Rango: 1.000 a 1.060. Precisión: $\pm 0,001$). Calibrado previamente (la calibración se realizó colocando de 2 a 3 gotas de **agua destilada** sobre el prisma limpio, cerrando la tapa, enfocando el ocular y ajustando el tornillo de calibración hasta que la línea límite azul coincida con el valor de referencia conocido en la escala).

Los participantes recolectaron muestras de orina en tubos falcón estériles de 15 ml, a partir de las cuales se determinó la GEO.

Se empleó una escala basada en la GEO para clasificar el estado de hidratación (17), la cual establece los siguientes rangos: ≤ 1.010 g/ml (muy bien hidratado), 1.011–1.015 g/ml (bien hidratado), 1.016–1.020 g/ml (deshidratación leve), y > 1.025 g/ml (deshidratación severa).

Percepción subjetiva del esfuerzo (PE)

La PE fue evaluada mediante la escala de Borg original de 6 a 20, utilizando la versión en idioma español, ampliamente empleada y validada en contextos de ejercicio físico y deporte. Esta escala presenta adecuada validez y confiabilidad para estimar la intensidad del esfuerzo durante pruebas máximas, mostrando una relación lineal con variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno.

Procedimiento

Las pruebas se llevaron a cabo en tres localidades de Colombia con diferentes altitudes: Armenia, Quindío (1.458 msnm, 20°C, Humedad Relativa del 80%); Espinal, Tolima (323 msnm, 26°C, Humedad Relativa del 73%); y Cajamarca, Tolima (2.100 msnm, 19°C, Humedad Relativa del 85%) (en este orden se realizó la prueba, el cual fue establecido mediante un procedimiento de aleatorización).

Todas las pruebas fueron realizadas a las 9:30 horas. Los participantes recibieron el mismo desayuno antes de las pruebas de campo. Así mismo, dos horas antes de iniciar la prueba se le suministró una bebida hidratante comercial, esto con el fin de permitir la absorción completa y la excreción del exceso de agua. El volumen de la bebida administrada de manera oral fue de 500 ml, de

acuerdo a las recomendaciones del American College of Sports Medicine (ACSM) (18).

Durante esta fase, se recolectaron las muestras de la siguiente manera:

Orina: se tomaron en cuatro momentos, estado basal, antes de la prueba (pre test), a los 10 minutos y a los 60 minutos posteriores a la ejecución de la prueba (CN).

Percepción subjetiva del esfuerzo (PE), se tomaron en tres momentos, antes de la prueba, inmediatamente finalizada la prueba y 10 minutos después de finalizar la prueba.

Previo a la aplicación de la prueba, todos los participantes recibieron instrucciones sobre el uso de la escala. Se les explicó que la PE debía representar su sensación global de esfuerzo, integrando la dificultad respiratoria, la fatiga muscular y el cansancio general. Se indicó que el valor 6 correspondía a “ningún esfuerzo” y el valor 20 a “esfuerzo máximo”, entendido como el mayor esfuerzo que podían realizar en ese momento. Asimismo, se enfatizó que la puntuación debía basarse exclusivamente en su percepción individual e inmediata, sin compararse con otros participantes ni considerar la duración de la prueba.

La PE fue registrada inmediatamente al finalizar el test de Course Navette, con el fin de reflejar la respuesta perceptual asociada al esfuerzo máximo alcanzado. Meta-análisis (19) recientes respaldan que el PE está asociado de manera consistente con parámetros fisiológicos relevantes para ejercicio aeróbico y de resistencia (p. ej., frecuencia cardíaca, lactato, VO_2), confirmando su validez convergente como medida de PE.

Consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), fue estimado a partir del desempeño en el test Course Navette (CN) de 20 metros. Durante la prueba, se registró de manera individual el nivel y la última vuelta alcanzada por cada participante, de acuerdo con el protocolo estandarizado del test. Para el procesamiento de los datos, se calculó el número total de vueltas completadas (x) como la suma de todas las vueltas finalizadas en los niveles previos más las vueltas completadas en el último nivel alcanzado.

De manera específica, el valor de x se obtuvo sumando el total de vueltas correspondientes a cada nivel completamente superado y adicionando las vueltas realizadas en el nivel en el que el participante finalizó la prueba. El valor obtenido de x fue posteriormente utilizado para estimar el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación propuesta por Paradisis et al. (20) ($\text{VO}_{2\text{máx}} = 0,2761 \times x + 27,504$) basada en los resultados del test de CN.

Prueba de campo: Test de Course Navette

La prueba se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita en estudios previos (21). Brevemente, consiste en que los participantes corran de manera continua entre dos líneas separadas por 20 metros, siguiendo una señal sonora

que marca el ritmo. La prueba finaliza cuando el deportista se detiene debido a fatiga o no logra alcanzar la línea delimitada antes de la señal.

Consideraciones éticas

Para el desarrollo de esta investigación, se siguieron los principios éticos para la experimentación con seres humanos, conforme a la Declaración de Helsinki y la Resolución 8430 del 4 de octubre de 1.993, la cual establece las directrices científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud en Colombia.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética y Bioética institucional (Acta 03 de febrero 26 de 2021). Antes de la recolección de la información, los participantes firmaron el consentimiento informado, en el cual se explicaban los objetivos de la investigación, el nivel de riesgo del estudio, la participación voluntaria y la posibilidad de retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Además, se garantizó la confidencialidad y el anonimato de los sujetos, utilizando códigos para su identificación.

Análisis estadístico

Se calcularon medidas descriptivas como la media y la desviación estándar (DS). Para el análisis de las variables antropométricas, se aplicó la prueba t-Student para muestras dependientes, previa verificación de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homocedasticidad mediante la prueba de Levene.

Además, para las variables de GEO, PE y masa se realizó un ANOVA de medidas repetidas, verificando previamente el cumplimiento de los supuestos de normalidad y esfericidad.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

RESULTADOS

En la Figura 1 se observa el comportamiento del VO₂máx en función de la altitud, evidenciándose una disminución estadísticamente significativa al pasar de baja a media altitud y de baja a alta altitud

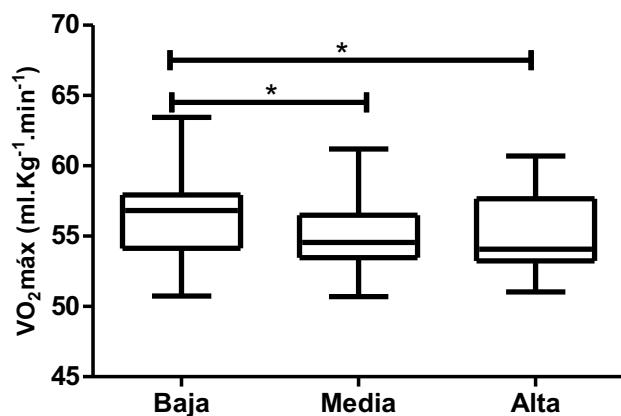


Figura 1. $VO_2\text{máx}$ según la altitud; *: $p\text{-valor} < 0,05$

En la Tabla 1 se presentan las comparaciones de los mismos momentos entre distintas altitudes para la GEO, la masa corporal y la PE. No se observaron diferencias significativas entre las altitudes en ningún momento evaluado.

Tabla 1. Variación de las variables en función de los diferentes momentos y altitudes

Variable	Momento	B	M	A	p-valor	
Masa (Kg)	Basal	65,36±8,25	65,42±8,65	65,46±8,49	BvsM	0,987
					BvsA	0,968
					MvsA	0,969
	Pretest	65,69±8,30	65,69±8,30	65,31±8,52	BvsM	0,998
					BvsA	0,878
					MvsA	0,883
	Min-10	65,37±8,33	65,51±8,67	65,10±8,52	BvsM	0,954
					BvsA	0,915
					MvsA	0,874
GEO (g/ml)	Min-60	65,51±8,28	65,76±8,57	65,42±8,52	BvsM	0,921
					BvsA	0,970
					MvsA	0,894
	Basal	1.022±0,006	1,021±0,006	1,023±0,005	BvsM	0,845
					BvsA	0,466
					MvsA	0,363
	Pretest	1.018±0,006	1.018±0,006	1.020±0,005	BvsM	0,782
					BvsA	0,176
					MvsA	0,291
PE	Min-10	1.011±0,006	1.013±0,006	1.016±0,008	BvsM	0,187
					BvsA	0,008
					MvsA	0,132
	Min-60	1.020±0,006	1.016±0,007	1.019±0,006	BvsM	0,089
					BvsA	0,875
					MvsA	0,141
	Pretest	9,71±2,31	10,61±2,36	9,56±1,53	BvsM	0,193
					BvsA	0,804
					MvsA	0,083
Posttest	Posttest	13,71±2,4	13,65±2,58	13,82±2,49	BvsM	0,938
					BvsA	0,869
					MvsA	0,817
					BvsM	0,349
Min- 10	Min- 10	10,92±1,95	10,39±1,85	10,78±1,83	BvsA	0,809
					MvsA	0,475

GEO: Gravedad Específica de la Orina. PE: Percepción del Esfuerzo. Min-10: Minuto 10. Min-60: Minuto 60. B: Baja altitud. M: Media altitud. A: Alta altitud

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la GEO (a), la masa corporal (b) y la PE (c) en los diferentes momentos y altitudes. Se observan patrones similares en las tres altitudes, con diferencias estadísticamente significativas entre los momentos evaluados dentro de cada altitud.

En la Figura 2a se evidencian diferencias significativas en la disminución de la GEO entre los momentos basal, pretest y minuto 10, así como entre pretest y minuto 10 en todas las altitudes. Solo en baja altitud se observó un aumento significativo entre el minuto 10 y minuto 60.

En la Figura 2b, la masa corporal mostró cambios similares en las tres altitudes, con una disminución significativa entre pretest y minuto 10, seguida de un aumento entre el minuto 10 y minuto 60.

En la Figura 2c se observa un incremento significativo en la PE postest en comparación con el pretest y una disminución en el minuto 10, ambos con significancia estadística en todas las altitudes. Sin embargo, solo en alta altitud se observó un aumento significativo de la PE en el minuto 10 respecto al pretest.

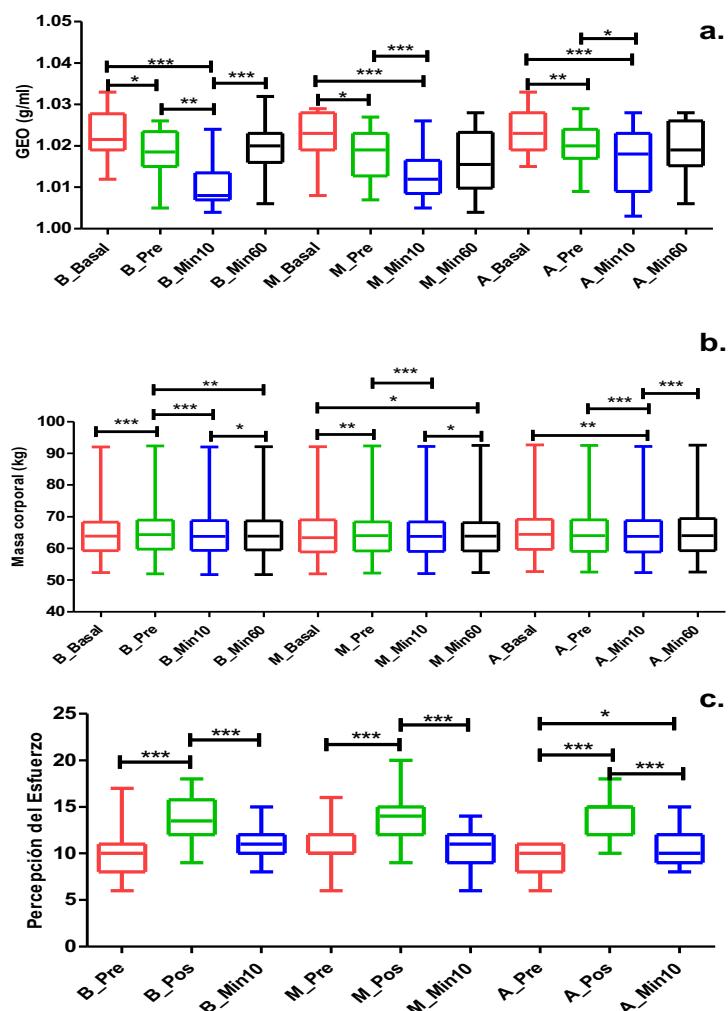


Figura 2. a: GEO en los diferentes momentos y altitudes; b: Masa corporal en los diferentes momentos y altitudes; c: PE en los diferentes momentos y altitudes; *: p-valor < 0,05; **: p-valor < 0,01; ***: p-valor < 0,001

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) para las variables evaluadas, identificando diferencias significativas en función de los diferentes momentos y altitudes.

Tabla 2. Análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) de las variables

Variable	GEO			PE			Masa		
Resultados	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
F	26,974	10,705	12,64	19,15	12,98	36,25	13,436	10,154	12,224
gl	6	0	2	2	2	2	2,179	1,977	1,764
P-valor	*	*	*	*	*	*	*	*	*
η^2	0,551	0,338	0,376	0,454	0,371	0,622	0,396	0,316	0,357
Potencia	1,00	0,970	1,00	1,00	0,996	1,00	0,998	0,979	0,988

gl: grados de libertad, η^2 : Eta parcial al cuadrado, *: P<0,001

La Tabla 3 muestra los p-valores e intervalos de confianza correspondientes para cada variable según las distintas altitudes, lo que permite observar la magnitud y precisión de las diferencias encontradas. Estos resultados proporcionan evidencia estadística de la influencia de la altitud y el momento de la medición sobre las variables estudiadas.

Tabla 3. P-valores e intervalos de confianza de las variables según las diferentes altitudes

		Altura					
		B	M	A			
Variable		P-valor	IC 95% Límites inferior - superior	P-valor	IC 95% Límites inferior - superior	P-valor	IC 95% Límites inferior - superior
Mas a	Basal vs Pretest	*	-0,530- -0,128	0,006	-0,468- -0,063	0,489	-0,087- -0,383
	Basal vs Min-10	0,968	-0,207 – 0,190	0,978	-0,292-0,109	0,002	0,108-0,597
	Basal vs Min-60	0,303	-0,370- 0,061	0,011	-0,618- -0,061	0,879	-0,183- 0,252
	Pretest vs Min-10	*	0,182- 0,460	*	0,081-0,267	*	0,104-0,305
	Pretest vs Min-60	0,004	0,048-0,302	0,879	-0,255- 0,107	0,189	-0,256- 0,030
	Min-10 vs Min-60	0,019	-0,273- -0,273	0,010	-0,449 - -0,47	*	-0,441- -0,194
GEO	Basal vs Pretest	0,030	0,001-0,008	0,012	0,001-0,006	0,009	0,001-0,006
	Basal vs Min-10	*	0,008-0,014	*	0,005-0,012	*	0,004-0,010
	Basal vs Min-60	0,555	-0,002-0,006	0,082	0,001-0,011	0,061	0,001-0,008
	Pretest vs Min-10	0,001	0,002-0,011	*	0,003-0,007	0,025	0,000-0,007
	Pretest vs Min-60	0,996	-0,006-0,002	0,954	-0,004-0,008	0,973	-0,003-0,004
	Min-10 vs Min-60	*	-0,0011- -0,006	0,674	-0,008-0,002	0,090	-0,006- -0,000
PE	Pretest vs Postest	*	-5,865- -2,135	0,001	-4,926- -1,161	*	-5,892- -2,630
	Pretest vs Min-10	0,239	-2,911-0,494	0,898	-1,778-2,212	0,030	-2,234 - -0,101
	Postest vs Min-10	*	1,238-4,346	*	1,590-4,932	*	1,841-4,246

GEO: Gravedad Específica de la Orina. PE: Percepción del Esfuerzo. Min-10: Minuto 10. Min-60: Minuto 60. B: Baja altitud. M: Media altitud. A: Alta altitud

DISCUSIÓN

El $\text{VO}_2\text{máx}$ mostró diferencias significativas entre la baja altitud (323 msnm) y la media (1.458 msnm), posiblemente debido a la adaptación fisiológica de los deportistas, quienes residen en altitud media. Al descender, el mayor oxígeno disponible favorece el aumento del $\text{VO}_2\text{máx}$ y, con ello, el rendimiento aeróbico. Esto coincide con estudios previos que señalan mejoras aeróbicas al entrenar en altura y competir a menor altitud, gracias a la mayor densidad de oxígeno y la eficiencia del transporte hacia los tejidos. Montañez Rojas et al (22) afirman que estas mejoras derivan de la aclimatación, el ejercicio hipóxico o ambos factores. Así, los hallazgos de este estudio respaldan una respuesta adaptativa favorable tras el entrenamiento en altitud media. Al comparar los valores de $\text{VO}_2\text{máx}$ entre altitud media (1.458 msnm) y alta (2.100 msnm), no se encontraron diferencias significativas. No obstante, Wehrlein y Hallén (23) señala que el $\text{VO}_2\text{máx}$ tiende a disminuir con el aumento de la altitud, lo que podría explicar los resultados observados en los deportistas evaluados. Estos hallazgos respaldan la importancia de realizar entrenamientos periódicos en altitudes elevadas para optimizar la capacidad aeróbica y mejorar la adaptación a las demandas fisiológicas propias de estos entornos.

Los valores de $\text{VO}_2\text{máx}$ obtenidos en este estudio se ubicaron entre los rangos considerados normales y buenos, según la clasificación propuesta por López y Fernández (24), quienes establecen que valores inferiores a 50 ml/kg/min son deficientes; entre 50 y 55 ml/kg/min, normales; entre 55 y 60 ml/kg/min, buenos; y superiores a 60 ml/kg/min, excelentes. En este sentido, los promedios registrados por los deportistas evaluados fueron de 56,59 ml/kg/min a baja altitud, 55,24 ml/kg/min a altitud media y 55,31 ml/kg/min a altitud alta, lo cual sugiere una adecuada capacidad aeróbica en las distintas condiciones de altitud. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Morales-Urbina et al (25), quienes reportaron valores similares en deportes de resistencia evaluados a 2.600 msnm: fútbol (51,87 ml/kg/min), baloncesto (49,76 ml/kg/min), fútbol de salón y artes marciales (49,75 ml/kg/min). De igual manera, García-Cardona et al (26) encontraron $\text{VO}_2\text{máx}$ superiores en voleibolistas ($>52,4$ ml/kg/min) y niveles catalogados como excelentes en futbolistas (46,5–52,4 ml/kg/min). En la misma línea, Blanco-Espitia et al (27) informaron un promedio de 53,2 ml/kg/min en futbolistas profesionales evaluados a una altitud de 2.600 msnm.

En cuanto a la percepción del esfuerzo (PE), se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas altitudes y momentos de evaluación. En particular, a 2.100 msnm se observó un aumento notable en la PE al minuto 10 respecto al pretest. Este incremento puede atribuirse a la menor disponibilidad de oxígeno en altitudes elevadas, lo que genera una respuesta fisiológica al estrés hipóxico. Como señala Zapata et al (28), la presión barométrica desciende de 760 mmHg a nivel del mar a aproximadamente 523 mmHg a 3.000 msnm, lo que reduce la capacidad de difusión del oxígeno a través de la membrana pulmonar. Esta condición afecta el transporte de oxígeno en sangre, impactando negativamente el rendimiento físico, cognitivo y emocional.

Dado que los deportistas residen a una altitud media (1.458 msnm), es probable que presenten adaptaciones fisiológicas propias de este entorno. Sin embargo, el ascenso a altitudes mayores conlleva una disminución de la presión atmosférica, lo que puede intensificar la percepción del esfuerzo (PE), especialmente cuando no se ha realizado un proceso adecuado de aclimatación. Estas condiciones generan un estrés fisiológico significativo para el organismo, lo que demanda adaptaciones fisiológicas agudas, como el incremento de la ventilación y la optimización del transporte y la utilización de oxígeno. Asimismo, se requieren adaptaciones crónicas, entre ellas una mayor eritropoyesis y modificaciones en el músculo esquelético, con el objetivo de sostener el rendimiento físico. No obstante, diversos autores señalan que, aun cuando estas adaptaciones se desarrollan, aumentos considerables en la altitud pueden afectar negativamente el desempeño físico (29). Este proceso de adaptación requiere tiempo y una planificación adecuada. Se ha demostrado que los protocolos de aclimatación superiores a tres semanas inducen mejoras hematológicas efectivas (30), las cuales optimizan el transporte de oxígeno y contribuyen a la reducción de la PE durante actividades físicas de alta exigencia. Asimismo, estudios recientes indican que el entrenamiento en altura mejora los indicadores hematológicos y el rendimiento físico, siendo los programas de entrenamiento con una duración mayor a tres semanas los que producen cambios más notorios (31).

Otra variable determinante en el rendimiento deportivo es el estado de hidratación, el cual fue evaluado mediante la gravedad específica de la orina (GEO). Este indicador permite identificar si los deportistas mantienen una ingesta adecuada de líquidos y minerales acorde con las exigencias fisiológicas impuestas por la actividad física y las condiciones ambientales, como la altitud. Diversos estudios han demostrado que la hipohidratación afecta negativamente el desempeño físico, cognitivo y emocional. Roses y Pujol (32) destacan que entre las principales consecuencias se encuentran la disminución del rendimiento y el deterioro funcional de músculos y tendones, mientras que Alves et al (33), reportan un impacto negativo en la toma de decisiones y en respuestas fisiológicas como el aumento de la frecuencia cardíaca. Barley et al (34) respaldan estos hallazgos, indicando que incluso niveles leves de hipohidratación pueden perjudicar la capacidad de ejercicio. En trabajos posteriores, los mismos autores (35) resaltan que el monitoreo del estado de hidratación es crucial en atletas, ya que el agua corporal influye no solo en la resistencia, sino también en prácticas comunes en el deporte competitivo, como la manipulación del peso corporal.

En esta investigación se buscó identificar los niveles de deshidratación que puede presentar un deportista con buena preparación física al exponerse a tres altitudes distintas. La literatura sugiere que la altitud puede alterar el estado de hidratación debido a factores como disminución de la sensación de sed, aumento de la diuresis inducida por hipoxia, y pérdidas insensibles de agua por frecuencia respiratoria elevada y aire seco (36).

Se empleó una escala basada en la GEO para clasificar el estado de hidratación (17), la cual permitió identificar variaciones asociadas con la altitud y

evaluar la eficacia de las estrategias de hidratación. En las tres altitudes, los valores basales indicaron deshidratación severa (1.022, 1.021 y 1.023 g/ml, para altitud baja, media y alta respectivamente), situación esperada dado que los participantes estaban en ayuno, conforme al protocolo. Dos horas después, tras el desayuno, los valores descendieron a niveles de deshidratación leve (1.018, 1.018 y 1.020 g/ml, para altitud baja, media y alta respectivamente), lo que sugiere una absorción lenta de los líquidos ingeridos. Berdugo et al. (37) reportaron resultados similares, con el 28,6% de los deportistas en deshidratación severa (>1.026), el 40% entre 1.024 y 1.025 g/ml, y el 31,4% por debajo de 1.023 g/ml. Asimismo, en la investigación realizada por Durán-Suárez et al (38), se observó que el 66,66 % de los deportistas presentaban deshidratación leve (>1.023 g/ml) antes del entrenamiento; tras la sesión, el 88,88 % de los participantes evidenció un aumento en el grado de deshidratación, alcanzando valores superiores a 1.025 g/ml.

Diez minutos después de la prueba de potencia aeróbica, sin ingesta adicional de líquidos, los valores mejoraron (1.011, 1.013 y 1.016 g/ml, para altitud baja, media y alta respectivamente), lo que sugiere un efecto retardado del desayuno. Inmediatamente después de esta medición, se suministraron 500 ml de una bebida hidratante estándar y se indicó a los participantes que podían continuar hidratándose libremente si lo deseaban. Este tipo de estrategias buscan contrarrestar los efectos adversos del ejercicio y de factores ambientales como la altitud. En este sentido, estudios como el de Parrucci y Guida (39), realizados con soldados argentinos desplegados en zonas montañosas (2800 a 2.039 msnm), confirman la necesidad de contar con planes efectivos de hidratación. A pesar de desarrollarse en entornos controlados, el 29% de los participantes presentó hipohidratación severa al finalizar la actividad física, mientras que el 64% logró mantener una reposición aceptable. Estos hallazgos refuerzan la idea de que, incluso con acceso a líquidos, una planificación inadecuada o la falta de conciencia sobre la importancia de la hidratación puede derivar en déficits significativos. De manera concordante, el estudio realizado por Palacio et al (40) en futbolistas ecuatorianos, utilizando valores de referencia similares a los empleados en la presente investigación, evidenció que una proporción considerable de los deportistas inicia los partidos en estado de deshidratación, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas según la posición de juego. No obstante, tanto sus resultados como los del presente estudio resaltan la necesidad de implementar estrategias de hidratación individualizadas, ajustadas a la edad y a las características específicas de los deportistas.

En la medición realizada 60 minutos después de la prueba, se evidenció un retroceso hacia valores compatibles con deshidratación severa, a pesar de la disponibilidad de líquidos. Es posible que los deportistas no comprendan plenamente la necesidad de continuar reponiendo líquidos tras la actividad física. La hidratación inadecuada, tanto antes como después del ejercicio, puede aumentar la temperatura corporal y generar síntomas como náuseas, cefaleas y malestar general (41).

El análisis general indica una tendencia persistente a la deshidratación, con diferencias no significativas entre altitudes, salvo entre baja (323 msnm) y

alta (2.100 msnm), donde se observó mejor estado de hidratación a los 10 minutos post ejercicio en la altitud baja. Esto podría reflejar un desconocimiento sobre los efectos fisiológicos de la altitud. La hipohidratación, definida como una pérdida de agua corporal $>2\%$, puede no afectar el rendimiento submáximo en ambientes fríos, pero sí lo hace en climas cálidos, debido a cambios fisiológicos como el aumento de la temperatura tisular y el estrés cardiovascular.

Algunos estudios han señalado que la exposición aguda o moderada a la altitud no siempre se traduce en un deterioro significativo del estado de hidratación ni del rendimiento aeróbico cuando existe acceso a líquidos y el esfuerzo es de corta duración. Cheuvront y Kenefick (42) indican que, en ejercicios máximos o submáximos de duración limitada, la hipohidratación inducida por la altitud puede no alcanzar magnitudes suficientes para comprometer el rendimiento físico de manera inmediata, especialmente en sujetos físicamente activos. Desde el punto de vista fisiológico, la hipoxia induce una hiperventilación compensatoria que incrementa las pérdidas insensibles de agua por la vía respiratoria, especialmente en ambientes fríos y secos. Sin embargo, estas pérdidas pueden pasar desapercibidas para el deportista, ya que no se acompañan necesariamente de un aumento proporcional en la sudoración.

El análisis intragrupo mostró diferencias significativas entre las mediciones basal, pretest y postprueba inmediata, especialmente en la altura baja, donde se observó una mejora evidente. Esto podría atribuirse al desayuno, aunque sus efectos solo se manifestaron dos horas después. Se destaca así la importancia de planificar adecuadamente la ingesta previa a la competencia, con alimentos de rápida absorción que garanticen los nutrientes necesarios para el rendimiento.

Una idea práctica derivada de esta investigación es la necesidad de incorporar estrategias personalizadas de hidratación y aclimatación en los planes de entrenamiento, especialmente para deportistas que compiten o entran en altitudes variables. Esto implica realizar controles sistemáticos del estado de hidratación (por ejemplo, mediante la gravedad específica de la orina), diseñar protocolos de aclimatación progresiva y fomentar la educación en cultura de hidratación antes, durante y después del ejercicio. Además, se recomienda adaptar la alimentación previa a la competencia según la altitud y el tipo de esfuerzo, priorizando alimentos de rápida absorción que favorezcan una recuperación eficiente.

LIMITACIONES Y CAMINOS FUTUROS

Entre las principales limitaciones del estudio se destaca el tamaño reducido de la muestra, lo cual restringe la generalización de los resultados a otras poblaciones deportivas, inclusive al ser una investigación realizada solo en varones. Asimismo, el consumo hídrico posterior al ejercicio no pudo ser controlado de manera estricta, situación que podría haber influido en las mediciones realizadas a los 60 minutos de recuperación. Adicionalmente, la ausencia de mediciones directas de otros biomarcadores fisiológicos limitó la

posibilidad de establecer correlaciones más precisas entre el estado de hidratación, el rendimiento físico y las condiciones de altitud.

Como líneas de investigación futura, se propone evaluar el efecto de diferentes tipos de bebidas (agua, bebidas isotónicas y soluciones con carbohidratos y electrolitos) sobre el estado de hidratación y el rendimiento aeróbico en condiciones de altitud. De igual forma, se recomienda el desarrollo de estudios longitudinales que analicen el impacto de protocolos de aclimatación de entre 2 y 4 semanas sobre el VO_2 máx y la percepción del esfuerzo en distintos perfiles altitudinales. Adicionalmente, se sugiere incluir una perspectiva psicoemocional, considerando la influencia de la deshidratación y la hipoxia sobre variables como el estado de ánimo, la motivación y la toma de decisiones en contextos de alta exigencia deportiva. Finalmente, se sugiere incluir la medición de la osmolaridad como variable complementaria para una mejor caracterización para el estado de hidratación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Quindío por la financiación del proyecto 1066, a los deportistas que participaron en el estudio, y a los integrantes del grupo de investigación en Fisiología de la Actividad Física y la Salud (GIFAS).

REFERENCIAS

1. Périard JD, Eijsvogels TMH, Daanen HAM. Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiol Rev.* 2021;101(4):1873–1979. doi:10.1152/physrev.00038.2020.
2. Rogulski M, Patarocha Y, Ślusarska A, Mędryk J, Błasiak P, Wirkijowska M, et al. Electrolyte disorders in athletes. *Qual Sport.* 2025;37:57197. doi:10.12775/QS.2025.37.57197.
3. García-Cardona DM, Sánchez-Muñoz OE, Bustamante CA, Rivera-Cardona SJ, Landázuri P. Respuesta de cortisol salival y ansiedad en jugadores universitarios de fútbol sala durante competencia. *Rev Iberoam Cienc Act Fís Deporte.* 2024;13(3):195–213. doi:10.24310/riccafd.13.3.2024.20346.
4. Ortiz Polo A, Carrasco García MS, Hernández Ponce L. Importancia de los electrolitos y la hidratación en la actividad física. *Educ Salud Bol Cient Inst Cienc Salud Univ Autón Estado Hidalgo.* 2019;8(15):241–6. doi:10.29057/icsa.v8i15.4822.
5. Paternoster N, Baggio E, Pelosi E. Personalized hydration status in endurance and ultra-endurance: a review. *Mediterr J Nutr Metab.* 2020;13(3):197–214. doi:10.3233/MNM-200434.
6. Watanabe H, Kadokura Y, Sugi T, et al. Influence of sustained mild dehydration on thermoregulatory and cognitive functions during prolonged moderate exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2024;124:3457–70. doi:10.1007/s00421-024-05548-6.
7. Armstrong LE, Johnson EC. Water intake, water balance, and the elusive daily water requirement. *Nutrients.* 2018;10:1928. doi:10.3390/nu10121928.

8. Adams WM, Scarneo-Miller SE, Vandermark LW, Belval LN, DiStefano LJ, Lee EC, et al. Movement technique and standing balance after graded exercise-induced dehydration. *J Athl Train.* 2021;56(2):203–10. doi:10.4085/1062-6050-0436.19.
9. Belval LN, Hosokawa Y, Casa DJ, Adams WM, Armstrong LE, Baker LB, et al. Practical hydration solutions for sports. *Nutrients.* 2019;11(7):1550. doi:10.3390/nu11071550.
10. Donahue PT, Wilson SJ, Williams CC, Hill CM, Valliant M, Garner JC. Impact of hydration status on jump performance in recreationally trained males. *Int J Exerc Sci.* 2020;13(4):826–36. doi:10.70252/CZTP1455.
11. Barley OR, Chapman DW, Blazevich AJ, Abbiss CR. Acute dehydration impairs endurance without modulating neuromuscular function. *Front Physiol.* 2018;9:1562. doi:10.3389/fphys.2018.01562.
12. Valenti K, Carrión MJ, Ravelli S. Rugby femenino: análisis de la ingesta de macronutrientes y líquidos. *Rev Iberoam Cienc Act Fís Deporte.* 2021;10(1):26–36. doi:10.24310/riccafd.2021.v10i1.11032.
13. Sawka MN, Cheuvront SN, Kenefick RW. Hypohydration and human performance: impact of environment and physiological mechanisms. *Sports Med.* 2015;45(Suppl 1):S51–60. doi:10.1007/s40279-015-0395-7.
14. Arney BE, Glover R, Fusco A, Cortis C, de Koning JJ, van Erp T, et al. Comparison of RPE scales for session RPE. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019;14(7):994–6. doi:10.1123/ijsspp.2018-0637.
15. Kreidler SM, Muller KE, Grunwald GK, Ringham BM, Coker-Dukowitz ZT, Sakhadeo UR, et al. GLIMMPSE: online power computation for linear models with and without a baseline covariate. *J Stat Softw.* 2013;54(10). doi: 10.18637/jss.v054.i10
16. Marfell-Jones M, Olds T, Stewart A, Carter L. *International standards for anthropometric assessment.* South Africa: ISAK; 2006.
17. Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT Jr, Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM. Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr.* 1998;8(4):345–55. doi: /10.1123/ijsn.8.4.345
18. American College of Sports Medicine; Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, et al. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(2):377–90. doi: 10.1249/mss.0b013e31802ca597
19. Lea JWD, O'Driscoll JM, Hulbert S, Scales J, Wiles JD. Convergent validity of ratings of perceived exertion during resistance exercise in healthy participants: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Open.* 2022;8(1):2. doi:10.1186/s40798-021-00386-8.
20. Paradisis GP, Zacharogiannis E, Mandila D, Smirtiotou A, Argeitaki P, Cooke CB. Multi-stage 20-m shuttle run fitness test, maximal oxygen uptake and velocity at maximal oxygen uptake. *J Hum Kinet.* 2014;41:81–87. doi:10.2478/hukin-2014-0035.
21. Mayorga-Vega D, Aguilar-Soto P, Viciana J. Criterion-related validity of the 20-m shuttle run test for estimating cardiorespiratory fitness: a meta-analysis. *J Sport Sci Med.* 2015;14:536–547.
22. Montañez Rojas FH, Sánchez Rodríguez DA, Ordóñez Saavedra N. Influencia de la altitud sobre la condición física de futbolistas en situaciones de entrenamiento y competición: una revisión sistemática. *Retos.* 2023;49:292–299. doi:10.47197/retos.v49.94129.

23. Wehrlin JP, Hallén J. Linear decrease in $\text{VO}_{2\text{max}}$ and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(4):404–412. doi:10.1007/s00421-005-0081-9.
24. López CJ, Fernández VA. *Fisiología del ejercicio*. 3.^a ed. Bogotá: Editorial Médica Panamericana; 2008.
25. Morales-Urbina AC, Sánchez-Rojas IA, Mendoza-Romero D. Estimación del consumo máximo de oxígeno en distintas disciplinas en jóvenes universitarios que habitan en altitud moderada. *Rev Esp Educ Fís Deportes*. 2020;(430):59–68. doi: 10.55166/reefd.vi430.921
26. García-Cardona DM, Landázuri P, Nieto Cárdenas OA, Galvis Soto DM. Metabolismo hepático, renal y muscular a nivel basal en deportistas universitarios de fútbol y voleibol. *Activ Fís Cienc*. 2023;15(1):47–65. doi:10.56219/actividadfsicaycienciasphysicalactivityandscience.v15i1.1483.
27. Blanco-Espitia DC, Blanco-Espitia RD, Gálvez-Pardo AY, Argüello-Gutiérrez YP, Castro-Jimenez LE. Medición del consumo máximo de oxígeno en futbolistas profesionales de Bogotá. *Rev Digit Activ Fís Deporte*. 2023;9(1):e2262. doi:10.31910/rdafv.v9.n1.2023.2262.
28. Zapata JNB, Herrera L, Zambonino JMB, Silva GC, Gallardo P. El atletismo y su entrenamiento en la altura. *Rev Órbita Pedag*. 2017;4:41–50.
29. Oak M, Oak A, Oak B. High altitude marathon physiology changes. *Int J Adv Med*. 2025;12(3):333–9. doi:10.18203/2349-3933.ijam20251086.
30. Rasmussen P, Siebenmann C, Díaz V, Lundby C. Red cell volume expansion at altitude: a meta-analysis and Monte Carlo simulation. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(9):1767–72. doi:10.1249/MSS.0b013e31829047e5.
31. Deng L, Liu Y, Chen B, Hou J, Liu A, Yuan X. Impact of altitude training on athletes' aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Life (Basel)*. 2025;15(2):305. doi:10.3390/life15020305.
32. Rosés JM, Pujol P. Hidratación y ejercicio físico. *Puntos Med Deporte*. 2006;41(150):70–77. doi:10.1016/S1886-6581(06)70013-5.
33. Alves WA, Gomes Silva JC, Silva K, Lacerda WG, Rodrigues AL, Batista GR. Efeito da desidratação no desempenho desportivo de atletas: uma revisão sistemática. *Retos*. 2024;60:1304–12. doi:10.47197/retos.v60.107340.
34. Barley OR, Chapman DW, Abbiss CR. The current state of weight-cutting in combat sports. *Sports*. 2019;7(5):123. doi:10.3390/sports7050123.
35. Barley OR, Chapman DW, Abbiss CR. Reviewing the current methods of assessing hydration in athletes. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020;17(1):52. doi:10.1186/s12970-020-00381-6.
36. Karpęcka-Gałka E, Frączek B. Nutrition, hydration and supplementation considerations for mountaineers in high-altitude conditions: a narrative review. *Front Sports Act Living*. 2024;6:1435494. doi:10.3389/fspor.2024.1435494.
37. Berdugo B, Rincón E, Piñero A. Estado de hidratación, pérdida de sodio e ingestión de líquidos durante un entrenamiento de ciclismo y patinaje de carrera. *Nutr Clín Diet Hosp*. 2022;42(3). doi:10.12873/423berdugo.
38. Durán Suárez A, Medina Corrales M, Rangel Colmenero BR, Hernández Cruz G, Chávez de la Rosa D, García Dávila MZ. Cambios en hidratación y potencia de miembros inferiores en atletas de Muaythai. *Rev Med Invest Univ Autón Estado Méx*. 2022;10(2):1–7. doi: 10.36677/medicinainvestigacion.v10i2.20058

39. Parrucci S, Guida RN. Influencia de la altitud y el estado de hidratación en los soldados de la VIII Brigada de Montaña al nivel de alta montaña. *Diaeta*. 2023;41:e2304106.
40. Palacios Guzman JA, Castro Moreno KB, Morán Zuloaga JL, Quiróz Brunes JA. Estado de hidratación de jóvenes futbolistas según su posición de juego: un estudio observacional. *Nutr Clín Diet Hosp.* 2025;45(4):170–175. doi:10.12873/454palacios.
41. Trangmar SJ, González-Alonso J. Heat, hydration and the human brain, heart and skeletal muscles. *Sports Med.* 2019;49(Suppl 1):69–85. doi:10.1007/s40279-018-1033-y.
42. Cheuvront SN, Kenefick RW. Dehydration: physiology, assessment, and performance effects. *Compr Physiol.* 2014;4:257–285. doi:10.1002/cphy.c130017