

Sanz-Quinto, S.; Moya-Ramón, M.; Brizuela, G.; Rice, I.; López-Gruoso, R (202x) Hydration Strategies at 4000 m Altitude Sojourn in a Marathoner. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. (*) pp. *. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/___*](http://cdeporte.rediris.es/revista/)

ORIGINAL

ESTRATEGIAS DE HIDRATACIÓN DE UN MARATONIANO CONCENTRADO A 4000 M DE ALTITUD

HYDRATION STRATEGIES AT 4000 M ALTITUDE SOJOURN IN A MARATHONER

Sanz-Quinto, S.^{1,2}; Moya-Ramón, M.²; Brizuela, G.³; Rice, I.⁴ y López-Gruoso, R.^{1,5}

¹ Comité Paralímpico Español (España) fisiologia@paralimpicos.es

² Universidad Miguel Hernández, Elche (España) mmoya@umh.es

³ Universidad de Valencia, Valencia (España) gabriel.brizuela@uv.es

⁴ Universidad de Illinois, Urbana-Champaign (Estados Unidos) ianrice@illinois.edu

⁵ Universidad Isabel I, Burgos (España) raul.lopez_gruoso@ui1.es

Código UNESCO / UNESCO code: 241106 Fisiología del Ejercicio

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification: 6 Fisiología del Ejercicio

Recibido 11 de junio de 2021 **Received** June 11, 2021

Aceptado 22 de enero de 2022 **Accepted** January 22, 2022

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar una intervención de hidratación individualizada y sus efectos sobre la masa corporal, diuresis y el estatus de hidratación de un maratoniano de élite en silla de ruedas a ~4000 m de altitud.

La ingesta total de líquido diaria, excreción de orina (orina), ingesta de líquido (Fluido) durante los entrenamientos, y la gravedad específica de orina al levantarse (SG AM) y antes de acostarse (SG PM) fueron medidos antes, durante y después de una concentración de 5 semanas a 3860-4090 m de altitud. La masa corporal y la ingesta de sodio (Na⁺) se registraron diariamente.

Se observó un incremento de los requerimientos de la ingesta de líquido en altitud comparado a nivel del mar (d de Cohen = 1,21), al igual que un aumento de la diuresis (d de Cohen ≥ 2,85). Resulta interesante destacar que, siguiendo las

recomendaciones de hidratación para atletas a pie, el equilibrio hídrico (HB) no fue el ideal ($\pm 2\%$).

PALABRAS CLAVES: Hipoxia, equilibrio hídrico, hiponatremia, maratón, intercambio de fluidos.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate an individualized hydration intervention, and its effects on an elite wheelchair marathon racer's body mass, diuresis, and hydration status at ~4000 m altitude.

Total daily fluid intake, urine excretion, fluid intake during training sessions (Fluid), and urine specific gravity upon waking (SG AM) and before bedtime (SG PM) were assessed before, during the course, and after a 5-wk training camp at 3860-4090 m altitude. Body mass and total sodium daily intake (Na^+) were recorded.

Increased fluid requirements (Cohen's $d = 1.21$) and diuresis (Cohen's $d \geq 2.85$) were observed in a wheelchair athlete at altitude. Interestingly, hydric balance (HB) was not ideal ($\pm 2\%$) when following hydration rate suggested for able-bodied athletes.

KEY WORDS: Hypoxia, hydric balance, hyponatremia, marathon, fluid replacement

1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento en altitud entre maratonianos de élite, se ha convertido en una estrategia popular para mejorar su rendimiento (Chapman y Levine, 2007), sin embargo, los atletas deben lidiar con una serie de fenómenos fisiológicos que acontecen en dichas condiciones medioambientales para aumentar su rendimiento. Por ejemplo, el mantenimiento de la masa corporal se ve frecuentemente comprometido cuando los atletas entrenan en altitud (Kayser, 1994).

En altitud, la reducción de masa corporal ocurre fundamentalmente por una pérdida de agua corporal, seguida por malnutrición, lo que conlleva una pérdida de grasa y masa muscular (Kayser, 1994). Durante la aclimatación en altitud hay una reducción de agua en el compartimento intra y extracelular que, acompañado de una disminución del volumen plasmático, tiene como consecuencia una pérdida de masa corporal de hasta 2 kg (Consolazio, Matoush, Johnson, y Daws, 1968; Milledge, 1992).

En zonas geográficas ubicadas entorno a 4000 m de elevación terrestre, la pérdida de agua por respiración, puede aumentar, dado un incremento en la ventilación (Butterfield, Gates, Fleming, Brooks, Sutton, y Reeves, 1992), acompañada de una pérdida de agua por un incremento de la diuresis (Butterfield, 1996), por tanto, una rápida rehidratación debe ser un objetivo para atletas que entrenan y residen en altitud (Burke, 1995) para compensar pérdidas de agua en sudor, ventilación y diuresis. Además, a los atletas que se ejercitan a nivel del mar durante largos períodos se les aconseja consumir un mínimo de 100 mL de fluido cada diez minutos (Dennis, Noakes, y Hawley, 1997) para prevenir la deshidratación o sobrehidratación ($\pm 2\%$ de la masa corporal tras el entrenamiento) que puede conllevar hipertermia e hiponatremia respectivamente (Kenefick, 2018). Al respecto, (Urdampilleta y Gómez-Zorita, 2015) recomiendan la ingesta de entre 500 y 1000 mL \cdot h⁻¹, con una concentración de carbohidratos del 4 al 8 %, un contenido en sodio (Na⁺) de 0,5 a 1 g \cdot L⁻¹ y una frecuencia de toma de 15 a 30 minutos. Además de todos estos estudios concernientes a hidratación en disciplinas de resistencia de larga duración, hay que considerar la escasa literatura científica que existe en relación a pautas de hidratación en poblaciones especiales (Rosety et al., 2016).

A día de hoy, no existen recomendaciones, referentes a estrategias de hidratación para atletas de resistencia que entrenen en altitud. Además, un aumento en la excreción de sodio (Na⁺), se ha relacionado con sintomatología del mal agudo de montaña (AMS) (Milledge, 1992), por tanto, se recomiendan 0,5-0,7 g \cdot L⁻¹ de reposición de Na⁺ durante el entrenamiento (von Duvillard, Braun, Markofski, Beneke, y Leithäuser, 2004; Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, y Stachenfeld, 2007), especialmente en sesiones de larga duración y con elevada temperatura ambiente ($\geq 22,3^{\circ}$ C) (Kakamu, Wada, Smith, Endo, y Fukushima, 2017), en las que se recomienda que con concentración de carbohidratos en la bebida se aproxime al 4 % (Urdampilleta y Gómez-Zorita, 2015). Por otro lado, el consumo de Na⁺ debería alcanzar un rango diario de 1500 a 2300 mg \cdot d⁻¹ (Cook, Appel, y Whelton, 2014), además la inclusión de Na⁺ en las bebidas utilizadas durante el entrenamiento y recuperación, se ha recomendado previamente por diversas razones: estimular la sed, incrementar la ingesta voluntaria de líquido, aumentar la absorción intestinal de agua y glucosa, optimizar el equilibrio hídrico intra y extracelular y prevenir la hiponatremia (concentración de Na⁺ plasmático < 135 mmol \cdot L⁻¹) (Maughan, 1991; Speedy et al., 1999; Vrijens y Rehrer, 1999; Shirreffs, Casa, y Carter, 2007). En línea con el incremento de la ingesta de Na⁺, mientras los deportistas entrenan y residen en altitud, un estudio con siete hombres entrenados, llevado a cabo a 5050 m de altitud, demostró que la concentración de Na⁺ en orina solo era significativamente mayor comparada a nivel del mar (166 ± 34 mEq \cdot d⁻¹) en la fase de exposición aguda (427 ± 46 mEq \cdot d⁻¹), además, cuatro semanas después de llegar a altitud, los valores no difirieron significativamente respecto a nivel del mar (257 ± 34 mEq \cdot d⁻¹) (Zaccaria, Rocco, Noventa, Varnier, y Opocher, 1998), por lo que el exceso de excreción de Na⁺ tendería a normalizarse durante la fase de aclimatación.

El objetivo de este estudio de caso fue evaluar una intervención de hidratación individualizada y sus efectos sobre la masa corporal, diuresis y estatus de hidratación de un atleta de élite en silla de ruedas, antes, durante 5 semanas de concentración a 3860-4090 m de altitud terrestre e inmediatamente después de regresar a nivel del mar tras la estancia. Nuestra hipótesis es que, siguiendo las recomendaciones de hidratación, sugeridas para atletas a pie, se minimizaría el impacto de la gran altitud sobre la masa corporal y se optimizarían los marcadores de estatus de hidratación como el HB.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Sujeto

Un atleta profesional en silla de ruedas participó en este estudio de caso (edad = 36 años; estatura = 1,76m; masa corporal = $52,6 \pm 0,4$ kg; $VO_{2max} = 52$ ml·kg·min⁻¹; clase de atletismo paralímpico T-52; 107 victorias en pruebas internacionales de ruta, incluyendo 5 en victorias en la maratón de Boston, 7 en la maratón de Oita, 1 en la maratón de Londres y 5 en la maratón de Los Ángeles). El participante de estudio fue diagnosticado con 18 meses de edad con Charcot Marie Tooth, afección neuromuscular más común con una incidencia de 30 cada 100000 personas, que afecta la función muscular distal de ambas extremidades (Banchs, et al, 2009), la cual, no tiene efecto alguno sobre la termorregulación del deportista, dado que no afecta a la capacidad sudomotora, perturbación fisiológica observada en personas con determinadas lesiones medulares (p. ej. tetraplejias y cuadriplejias) que limitan el ejercicio físico de resistencia, especialmente en condiciones de elevada temperatura medioambiental (Griggs, Stephenson, Price, y Goosey-Tolfrey, 2020). La silla de competición en este estudio fue el modelo (Eaglesportschairs-Racing, Snellville, Georgia, Estados Unidos de América).

2.2 Diseño del estudio

Un estudio de caso multidimensional se llevó a cabo, en combinación con una concentración en altitud a 3860-4090 m de elevación terrestre en Puno (Altiplano Peruano), como preparación base para la maratón de Boston que tendría lugar diez semanas después de concluir la estancia en altitud. Durante la estancia, el atleta residía y entrenaba en altitud (Live High – Train High) (Rusko, Tikkanen, y Peltonen, 2004). Hay que destacar que, solo un estudio ha expuesto a atletas residentes de baja altitud “lowlanders” a una elevación terrestre superior a 3500 m de altitud, en este caso, 4000 m de altitud (Buskirk, Kollias, Akers, Prokop, y Reategui, 1967), aunque a diferencia de nuestro estudio, en la investigación de Buskirk y cols. los participantes eran atletas universitarios sin experiencia previa en el bajo condiciones de hipoxia.

Con el fin de analizar la perturbación fisiológica en diferentes sistemas biológicos, el cambio de entrenar/residir a nivel del mar a entrenar/residir a 4000 m de elevación terrestre, el mismo entrenamiento con intensidades que no excedían el

primer umbral ventilatorio (VT1), se llevo a cabo en: 1) la semana previa a altitud (W_{-1}), 2) la semana de aclimatación a altitud (W_1) y 3) la semana de regreso a nivel del mar (W_{+1}). Tanto W_{-1} como W_{+1} se desarrollaron a 16 m de altitud. El entrenamiento de alta demanda fisiológica, se llevó a cabo en las semanas de entrenamiento en altitud durante las semanas 2 a 5 en altitud (W_{2-5}). En estas semanas el atleta realizaba una de estas tres sesiones por la mañana, si alcanzaba un valor referencial de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Vesterinen et al., 2016): Sesión A) 20 x 400 m en el segundo umbral ventilatorio (VT2) con 75 s de recuperación en un plateau a 4090 m de altitud, Sesión B) 2 horas en VT1 en un rango de elevación de 3860-4090 m de altitud y Sesión C) 6 x 2000 m en VT2 con 120 s de recuperación en un plateau a 4090 m de altitud. Si no se alcanzaba ese valor referencial, se completaban dos rodajes (20 km por la mañana y 16 km por la tarde) por debajo del primer umbral ventilatorio ($<VT1$). Las sesiones de fuerza máxima en gimnasio se realizaban los lunes y jueves por la tarde. Los domingos eran días de descanso pasivo. El entrenamiento se detalla en la publicación de Sanz-Quinto y cols. (Sanz-Quinto, López-Grueso, Brizuela, Flatt, y Moya-Ramón, 2019).

Los experimentos reportados en este estudio, se llevaron a cabo respetando los estándares éticos de la Declaración de Helsinki. El participante dio su consentimiento por escrito para la publicación del estudio de caso, que siguió los principios aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Miguel Hernández de Elche (proyecto #DPS.MMR.02.15, con fecha de resolución el 17 de diciembre de 2015) además el participante e investigador cumplió con la normativa del Belmont Report y ejercía ese doble rol de investigador y sujeto experimental, pues la investigación era parte de su estudio de tesis doctoral.

2.3 Variables medidas

La temperatura ambiente y la humedad relativa fueron registradas con un dispositivo portátil (Tenmars TM-183®, Taipei, Taiwán). La media de la temperatura y humedad se registraron diariamente 2-min antes de cada sesión.

La masa corporal se registró al levantarse en ayunas con una báscula digital (Tanita BC-601®, TANITA Corporation, Tokyo, Japón).

La orina se coleccionó durante todo el día (entrenamiento + horas de descanso) con un recipiente de 2000 mL y marcas de referencia cada 100 mL. El volumen de orina se pesó (Tanita kd-321®, TANITA Corporation, Tokyo, Japón), mientras que el líquido ingerido se calculó pesando las botellas sin líquido antes de entrenar y al finalizar los entrenamientos, calculando los líquidos sobrantes y pesando durante las horas de descanso el líquido ingerido.

La gravedad específica de orina (SG) se midió al levantarse (AM SG) (Mission® U500, ACON Laboratories, San Diego, California, Estados Unidos) y dos horas después de cenar (PM SG), con el fin de conocer el estatus de hidratación, a lo

largo del día.

Para calcular el equilibrio hídrico (HB) tras cada entrenamiento, se usó la fórmula: $HB = (\text{volumen de líquido ingerido}) - (\text{pérdida de agua})$ (Armstrong, Johnson, McKenzie, Ellis, y Williamson, 2015), en donde la ingesta de volumen de líquido ingerido se refiere al líquido ingerido durante un entrenamiento. Si el volumen sugerido (VS) para el entrenamiento no se consumía del todo, el líquido sobrante (LL) se pesaba y se aplicaba esta fórmula ($\text{Volumen de líquido ingerido} = VS - LL$). La pérdida de agua se cuantificó como la diferencia entre la masa corporal previa al entrenamiento menos la masa corporal registrada posterior a la sesión.

En este estudio, el cálculo de la ingesta sólida de Na^+ , se llevó a cabo con la base de datos de composición nutricional BEDCA, aprobada por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación (BEDCA, 2016). Para el cálculo de la ingesta de Na^+ durante el entrenamiento, se visionaron las propiedades nutricionales indicadas en el etiquetado de las bebidas detalladas a continuación.

2.4 Programa de hidratación

La bebida deportiva usada para los rodajes y sesiones de tipo interválico fue Isolin Isotonic (AMIX). Se recomendó al atleta beber ~700 mL de solución para rodajes <VT1 y una solución de 1250 mL más un gel de carbohidratos de 70 mL para las sesiones de alta demanda fisiológica (A, B, C). La tasa de líquido ingerida recomendada fue de 100 mL cada 10 min (Dennis et al., 1997; Urdampilleta y Gómez-Zorita, 2015), además durante las sesiones de fuerza en gimnasio, se consumió agua *ad libitum* e inmediatamente tras acabar se ingirieron 400 mL de líquido como estrategia de rehidratación.

En total, el objetivo de líquido diario (Fluido) se fijó en 4 a 5 L (Tabla 1) y la SG se mantuvo dentro del rango de normalidad (≤ 1.20), excepto AM SG en W_{+1} , donde el líquido ingerido estuvo por debajo de $4 L \cdot d^{-1}$ (Tabla 1).

2.5 Análisis estadístico

La distribución de cada variable fue examinada con la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Todos los datos se expresan como media \pm Desviación Estándar (DE). Un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas fue llevado a cabo para todas las variables, incluyendo el factor TIEMPO con niveles W_{-1} , W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 y W_{+1} . Un test post hoc LSD de rango múltiple determinó diferencias entre niveles de factores. La magnitud de cambio asociada a cambios en masa corporal, ingesta de líquido y orina fueron calculados usando la “d” de Cohen y fueron interpretados como triviales ($d \leq 0,19$), pequeños (0,20-0,49), medianos (0,50-0,79) y grandes ($d \geq 0,80$) (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009). Los coeficientes de correlación de Pearson fueron calculados para las variables analizadas. El nivel de significación fue considerado en $\alpha = 0,05$. Para el análisis estadístico se usó el software SPSS (SPSS, Inc., Chicago, IL,

USA) version 22.0 y el software Statgraphics (STSC, Inc., Rockville, MD, USA) versión 16.1.17.

3. RESULTADOS

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados de la intervención de hidratación.

Hubo un incremento en la ingesta de líquido (Fluido) en la primera semana en altitud ($4280,8 \pm 723,0$ mL en W_{-1} vs $5552,2 \pm 1302,6$ mL en W_1 ; $p < 0,05$; $d = -1,21$), disminuyendo tras regresar a nivel del mar en W_{+1} ($3763,6 \pm 1321,9$ mL; $p < 0,05$; $d = 0,49$). Se observó también una reducción significativa durante la estancia desde W_2 ($4628,8 \pm 839,6$ mL) a W_{+1} ($3763,6 \pm 1321,9$ mL) ($p < 0,05$; $d = 0,78$).

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS

Tabla 1. Parámetros nutricionales, de composición corporal y estatus de hidratación a nivel del mar y altitud.

Fase	Masa corporal (kg)	SG AM	SG PM	Fluido (mL)	Na ⁺ (mg)	Orina (mL)
W ₋₁	52,6 ± 0,4 ^{b*** c*** d***}	1,020 ± 0,003	1,014 ± 0,004	4280,8 ± 723,0	2249 ± 845	3504,3 ± 652,4
W ₁	50,7 ± 0,5 ^{f***}	1,014 ± 0,006 ^{a*}	1,012 ± 0,006	5552,2 ± 1302,6 ^{a*}	1980 ± 681	4448,0 ± 444,3 ^{a*** c*** d*** e***}
W ₂	50,5 ± 0,2	1,019 ± 0,002	1,008 ± 0,003 ^{a*}	4834,7 ± 850,7	1601 ± 244	3815,0 ± 382,9 ^{b***}
W ₃	50,8 ± 0,4	1,018 ± 0,004	1,012 ± 0,004	4628,8 ± 839,6	1921 ± 568	3610,7 ± 476,1 ^{b***}
W ₄	50,9 ± 0,3 ^{a***}	1,018 ± 0,003	1,016 ± 0,003 ^{c***}	4257,1 ± 499,9 ^{b*}	2033 ± 656	3141,4 ± 471,0 ^{c***}
W ₅	51,2 ± 0,3 ^{a*** c***}	1,018 ± 0,004	1,015 ± 0,004 ^{c***}	4213,1 ± 460,4 ^{b*}	1838 ± 656	3206,4 ± 518,1 ^{c***}
W ₊₁	52,1 ± 0,5 ^{a*** b*** c*** d*** e*** f***}	1,023 ± 0,006 ^{b*}	1,017 ± 0,006 ^{c***}	3763,6 ± 1321,9 ^{b*}	2379 ± 750	2526,0 ± 517,3 ^{a*** b*** c*** d*** e*** f***}

W₋₁, semana previa a altitud; W₁₋₅ semanas en altitud; W₊₁, semana posterior a altitud.

a, Diferencias respecto a W₋₁.

b, Diferencias respecto a W₁.

c, Diferencias respecto a W₂.

d, Diferencias respecto a W₃.

e, Diferencias respecto a W₄.

f, Diferencias respecto a W₅.

*p < 0,05; ***p < 0,001.

Tabla 2. Volumen de líquido ingerido durante entrenamientos a nivel del mar y altitud.

Fase	Fluido Vol. 1 (mL)	Fluido Vol. 2 (mL)
W ₋₁	700,0	700,0
W ₁	678,8 ± 219,4 ^{e*}	707,3 ± 12,7
W ₂	1089,2 ± 340,5 ^{b*}	730,0 ± 157,1
W ₃	1199,0 ± 324,8 ^{a*b*}	321,0 ± 29,7 ^{a*b*c*e*f*}
W ₄	1146,7 ± 294,3 ^{a*}	620,0 ± 282,8
W ₅	780,0 ± 270,7 ^{d*e*}	561,3 ± 134,2
W ₊₁	700,0 ^{d*e*}	500,0 ^{a*b*c*d*}

Fluido Vol. 1 y 2 son los volúmenes de líquido ingerido en la sesión de entrenamiento matinal y vespertina respectivamente.

W₋₁, semana previa a altitud; W₁₋₅ semanas en altitud; W₊₁, semana posterior a altitud.

a, Diferencias respecto a W₋₁. b, Diferencias respecto a W₁. c, Diferencias respecto a W₂. d, Diferencias respecto a W₃. e, Diferencias respecto a W₄. f, Diferencias respecto a W₅.

*p < 0,05.

Respecto a cambios de composición corporal, se observó un descenso significativo en la masa corporal al llegar a altitud ($50,7 \pm 0,5$ kg en W_1 vs $52,6 \pm 0,4$ kg en W_{-1} ; $p < 0,001$; $d = 4,19$), sin embargo, la masa corporal, se normalizó, regresando a valores similares previos a la estancia en altitud, tras regresar de altitud en W_{+1} ($52,6 \pm 0,5$ kg). A lo largo de la concentración, se observó un incremento significativo en la masa corporal desde W_2 ($50,8 \pm 0,4$ kg en W_2 vs $51,2 \pm 0,3$ kg en W_5 ; $p < 0,001$; $d = -1,13$).

La diuresis aumentó al llegar a altitud ($4448,0 \pm 444,3$ mL en W_1 vs $3504,3 \pm 652,4$ mL en W_{-1} ; $p < 0,001$; $d = -1,69$), W_2 ($3815,0 \pm 382,9$ mL; $d = 1,53$), W_3 ($3610,7 \pm 476,1$ mL; $d = 1,82$), W_4 ($3141,4 \pm 471,0$ mL; $d = 2,85$) y W_5 ($3206,4 \pm 518,1$ mL; $d = 2,57$). Por el contrario, la diuresis disminuyó al regresar al nivel del mar en W_{+1} ($2526,0 \pm 517,3$ mL; $p < 0,001$) que en el resto de períodos ($d \geq 1,24$).

En la Figura 1 se observan las diferencias entre Fluído en normoxia e hipoxia y volumen de orina excretado entre normoxia e hipoxia.

Por otro lado, AM SG fue menor en la primera semana en altitud ($1,010 \pm 0,006$ en W_1 ; $p < 0,05$; $d = 2,23$), comparado a antes de viajar a altitud en W_{-1} ($1,020 \pm 0,002$), la segunda semana de altitud en W_2 ($1,019 \pm 0,002$; $d = -2,01$) y al regresar a nivel del mar en W_{+1} ($1,023 \pm 0,006$; $d = -2,17$).

En la Tabla 3 se muestran los datos concernientes a las sesiones de entrenamiento.

Respecto al equilibrio hídrico (HB), observamos un valor positivo en cada entrenamiento, excepto en una sesión de fuerza realizada en el gimnasio, donde la temperatura ambiente fue elevada (21° C). Resulta llamativo un HB > 2 % de la masa corporal en 9 sesiones, todas ellas específicas (#3A; #3B; #3C). Además, HB fue $\geq 2,5$ % de la masa corporal en dos entrenamientos, donde se registró una temperatura ambiente de $\leq 5^\circ$ C y una humedad relativa ≤ 46 %. En estas dos sesiones la tasa de líquida ingerida fue de ($820,4$ mL \cdot h $^{-1}$ y $597,2$ mL \cdot h $^{-1}$). Otro dato llamativo se observó al regresar a nivel del mar en W_{+1} , donde la ingesta de líquido durante los entrenamientos fue del rango de $503,1$ a $599,4$ mL \cdot h $^{-1}$.

La ingesta media de líquido por hora en función del tipo de entrenamiento fue de: $586,8 \pm 102,7$ mL \cdot h $^{-1}$ para sesiones 20 km $<$ VT1; $749 \pm 86,5$ mL \cdot h $^{-1}$ para 16 km $<$ VT1; $495,4 \pm 175,6$ mL \cdot h $^{-1}$ para sesiones de fuerza máxima; $834,4 \pm 17,9$ mL \cdot h $^{-1}$ para sesiones interválicas de 400 m; $704,9 \pm 130$ mL \cdot h $^{-1}$ para rodajes de 2 horas en VT1; $642,2 \pm 34,7$ mL \cdot h $^{-1}$ para sesiones interválicas de 2000 m.

Respecto al análisis de correlaciones, se observó una correlación negativa moderada entre la temperatura ambiente y HB ($r = -0,37$; $p = 0,006$), así como

una correlación moderada entre HB y Fluido ($r = 0,53$; $p = 0,001$). Como era de esperar, Fluido correlacionó de manera fuerte con la producción de orina ($r = 0,67$; $p = 0,001$). Por último, se encontró una correlación negativa moderada entre la pérdida de agua y HB ($r = - 0,59$; $p = 0,001$).

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS

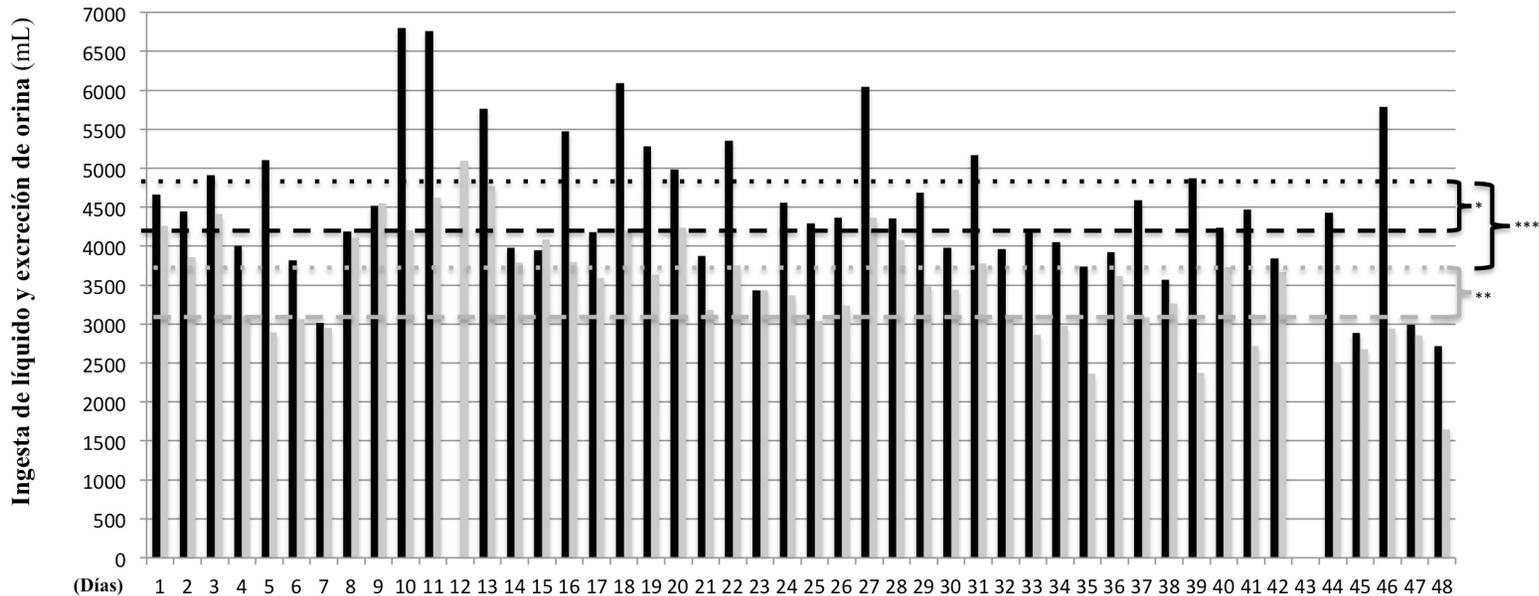
Tabla3. Equilibrio hídrico (HB), ingesta de líquido y pérdida de agua a nivel del mar y altitud

Fecha	Día	Fase	Altitud (m)	Sesión AM (km)	Sesión PM (km)	Duración (h-min-s)	Temp. (C)	Hum. (%)	Fluido Vol. (mL)	Tasa ingerida (mL · h ⁻¹)	Pérdida de agua (mL)	HB (mL)
6/01/16	3	W ₋₁	16	19,9 <VT1		1:06:30	13	56	700	631,6	500	200
6/01/16	3	W ₋₁	16		16,8 <VT1	0:59:38	16	61	700	704,3	300	400
7/01/16	4	W ₋₁	16	20,3 <VT1		1:06:17	22	52	700	633,6	200	500
7/01/16	4	W ₋₁	16		16,8 <VT1	0:52:45	23	56	700	796,2	100	600
8/01/16	5	W ₋₁	16	20,2 <VT1		1:04:22	19	53	700	652,5	300	400
8/01/16	5	W ₋₁	16		16,2 <VT1	0:50:24	23	58	700	833,3	100	600
9/01/16	6	W ₋₁	16	17,8 <VT1		0:56:53	15	63	700	738,4	150	550
9/01/16	VUELO ALICANTE-MADRID-LIMA-JULIACA-TRASLADO EN COCHE A PUNO											
10/01/16												
10/01/16												
13/01/16	10	W ₁	3860	20,1 <VT1		1:15:40	9	44	350	277,5	0	350
13/01/16	10	W ₁	3860		15,7 <VT1	1:06:55	15	48	700	627,6	200	500
14/01/16	11	W ₁	3860	20,2 <VT1		1:12:49	5	41	800	659,2	100	700
14/01/16	11	W ₁	3860		16,2 <VT1	0:59:12	17	51	722	731,8	300	400
15/01/16	12	W ₁	3860	20,2 <VT1		1:11:10	10	40	790	666,1	100	690
15/01/16	12	W ₁	3860		16,2 <VT1	0:58:58	17	44	700	712,3	200	500
16/01/16	13	W ₁	3860	20,2 <VT1		1:09:46	5	49	775	666,5	100	675
18/01/16	15	W ₂	3860	16,2 <VT1		1:03:06 lluvia	11	51	775	736,9	300	475

18/01/16	15	W ₂	3860		Fuerza	1:10:00	17	47	590	505,7	300	290
19/01/16	16	W ₂	4090	20 x 400 m		1:42:23	4	46	1400	820,4	100	1300
20/01/16	17	W ₂	3860	20,2 <VT1		1:13:58 lluvia	11	45	775	628,7	100	675
20/01/16	17	W ₂	3860		16,2 <VT1	0:55:25	17	49	700	757,9	500	200
21/01/16	18	W ₂	3860	16,3 <VT1		0:54:20	10	46	785	866,9	200	585
21/01/16	18	W ₂	3860		Fuerza	1:10:00	17	48	900	771,4	300	600
22/01/16	19	W ₂	3860- 4090	29,7 VT1		2:20:40	2	44	1400	597,2	100	1300
23/01/16	20	W ₂	4090	6 x 2000 m		2:03:34	4	45	1400	679,8	300	1100
25/01/16	22	W ₃	3860	16,3 <VT1		0:54:45	11	52	785	860,3	400	385
25/01/16	22	W ₃	3860		Fuerza	1:10:00	21	51	300	257,1	1300	-1000
26/01/16	23	W ₃	4090	20 x 400 m		1:39:00	5	51	1400	848,5	200	1200
27/01/16	24	W ₃	3860	30,4 VT1		1:36:54	18	53	1434	887,9	800	634
28/01/16	25	W ₃	3860	16,2 <VT1		0:55:41	9	54	775	831,1	300	475
28/01/16	25	W ₃	3860		Fuerza	1:10:00	16	44	342	293,1	0	342
29/01/16	26	W ₃	4090	6 x 2000 m		2:06:08	7	51	1400	665,9	300	1100
30/01/16	27	W ₃	4090	20 x 400 m		1:38:11	5	43	1400	855,5	0	1400
1/02/16	29	W ₄	3860	16,3 <VT1		0:57:31	7	52	775	808,5	0	775
1/02/16	29	W ₄	3860		Fuerza	1:10:00	16	50	820	702,9	300	520
2/02/16	30	W ₄	3860- 4090	29,7 VT1		2:06:20	10	48	1400	664,9	300	1100
3/02/16	31	W ₄	4090	6 x 2000 m		2:01:12	9	46	1280	633,7	300	980
4/02/16	32	W ₄	3860	16,3		0:54:42	6	44	775	850,1	100	675

				<VT1								
4/02/16	32	W ₄	3860		Fuerza	1:10:00	14	49	420	360	0	420
5/02/16	33	W ₄	4090	20 x 400 m		1:43:17	10	51	1400	813,3	600	800
6/02/16	34	W ₄	3860- 4090	28,7 VT1		1:59:05	8	44	1250	629,8	0	1250
9/02/16	37	W ₅	3860	16,3 <VT1		0:53:52	11	51	700	779,7	100	600
9/02/16	37	W ₅	3860		Fuerza	1:10:00	14	48	552	473,1	0	552
10/02/16	38	W ₅	3860	20,3 <VT1		1:03:31	9	49	550	519,5	100	450
10/02/16	38	W ₅	3860		16,3 <VT1	0:54:28	16	53	700	771,1	400	300
11/02/16	39	W ₅	3860	16,3 <VT1		0:53:32	7	44	700	784,5	0	700
11/02/16	39	W ₅	3860		Fuerza	1:10:00	16	51	700	600	200	500
12/02/16	40	W ₅	4090	6 x 2000 m		2:07:13	7	49	1250	589,5	200	1050
13/02/16	41	W ₅	3860	20,3 <VT1		1:07:24	14	48	700	623,1	200	500
15/02/16					TRASLADO PUNO-JULIACA VUELO JULIACA-LIMA-MADRID-ALICANTE							
16/02/16												
17/02/16	45	W ₊₁	16	20,3 <VT1		1:10:24	16	61	700	596,6	1200	-500
17/02/16	45	W ₊₁	16		16,2 <VT1	0:53:23	12	44	500	561,9	300	200
18/02/16	46	W ₊₁	16	20,3 <VT1		1:03:05	12	41	700	570,7	100	600
18/02/16	46	W ₊₁	16		16,2 <VT1	0:47:47	17	57	500	627,8	400	100
19/02/16	47	W ₊₁	16	20,3 <VT1		1:02:38	11	53	700	503,1	0	700
19/02/16	47	W ₊₁	16		16,5 <VT1	0:50:03	13	61	500	599,4	100	400

Temp. Temperatura ambiente; Hum. Humedad ambiente: Pérdida de agua es la diferencia de la masa corporal antes y después del entrenamiento



Volumen	128 km						128 km						146 km						134 km						140 km						116 km						128 km																		
Sesiones	6						6						9						8						8						8						6																		
Tipo de Sesión	G	G	D	D	F	G	G	G	D	D	F	G	E	A	D	E	B	C	G	E	A	B	E	C	A	G	E	B	C	E	A	B	G	G	D	D	E	C	F	G	G	G	D	D	D	F	G								
Día	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S
Semana	W ₋₁						W ₁						W ₂						W ₃						W ₄						W ₅						W ₊₁																		

Figura 3. Programa de entrenamiento, ingesta de líquido diaria y excreción de orina durante W₋₁, W_{1,2,3,4,5} and W₊₁ Sesión A: 20 x 400 m VT2; Sesión B: 2 horas VT1; Sesión C: 6 x 2000 m VT2; Sesión D: 20 km < VT1 en la mañana + 16 km < VT1 en la tarde; Sesión E: 16 km < VT1 en la mañana + fuerza en la tarde; Sesión F: 20 km < VT1 en la mañana + descanso en la tarde; Sesión G: Descanso; Columnas en negro, representan la ingesta de líquido diario (Fluido); Columnas en gris, representan el volumen de orina diario; La línea negra de rayas discontinuas, representa la media de Fluido ingerida (4065 mL) en normoxia a 16 m de altitud; La línea negra de puntos negros representa la media de Fluido ingerida (4634 mL) en condiciones de hipoxia a 3860 m de altitud; La línea gris de rayas discontinuas, representa la media de orina excretada (3097 mL) en normoxia a 16 m de altitud; La línea discontinua de puntos grises, representa la media de orina excretada (3644 mL) en condiciones de hipoxia a 3860 m de altitud; Diferencias con Fluido bajo condiciones de normoxia: * p < 0,1; Diferencias con orina excretada bajo condiciones de normoxia: ** p < 0,01; Diferencias con Fluido y excreción de orina bajo condiciones hipóxicas: *** p < 0,001.

4. DISCUSIÓN

Este estudio de caso podría sugerir que existen diferencias en las necesidades de hidratación entre un maratoniano de élite en silla de ruedas y maratonianos de élite a pie, de cualquier forma, debemos ser cautos, ya que los estudios que han expuesto a atletas a pie a exposiciones hipóxicas en elevaciones terrestres similares a la de nuestro participante de estudio (4000 m de altitud), no han reportado estrategias de hidratación (Burkirk, Kollias, Akers, Prokop, y Reategui, 1967). Existen estudios en la literatura que han expuesto la reacción biológica de atletas (velocistas y mediodondistas universitarios) a altitudes cercanas a los 3000 m, pero no se centran en el estatus de hidratación del deportista y no detallan el entrenamiento realizado por los atletas (recomendamos los estudios de Lexington y Leadville de los profesores Reeves y Grover). Teniendo esto en cuenta, una vez analizados los resultados de nuestro estudio, el cual, siguió las pautas de hidratación, aconsejadas para deportistas de resistencia convencionales, nuestro participantes, debería haber disminuido su tasa de ingesta de líquido, comparada a la recomendada para deportistas de resistencia convencionales (Dennis, Noakes, y Hawley, 1997), expresada en $\text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$, tanto a nivel del mar como en altitud. Por otro lado, para evitar episodios de hiponatremia, mantener el rendimiento, reducir el estrés cardiovascular y termorregulatorio durante largas sesiones de entrenamiento continuo e interválico, recomendamos a los atletas en silla de ruedas seguir estrategias similares de hidratación a las descritas minuciosamente en este estudio, aunque especial atención deberían de tener deportistas con lesiones medulares del nivel C7 a C5, pues tienen perturbada su capacidad sudomotora (Griggs, Stephenson, Price, y Goosey-Tolfrey, 2020).

En elevada altitud (3500 a 5500 m) una mayor ventilación (Butterfield et al., 1992) y diuresis (Butterfield, 1996) podrían explicar los cerca de 2 kg de pérdida en masa corporal, observados desde W_{-1} a W_1 y el posterior regreso a valores previos a la estancia, al regresar a nivel del mar en W_{+1} (Tabla 1). De hecho, desde la fase de aclimatación, el estado de hidratación parecía óptimo (Stover, Petrie, Passe, Horswill, Murray, y Wildman R, 2006), como refleja una menor AM SG en W_1 comparada a W_{-1} y un HB positivo en todas las sesiones de entrenamiento. Sin embargo, un excesivo HB positivo (2,57 %) observado en dos sesiones, podría haber estado influido por la baja temperatura ambiental (2 a 4° C), pues es bien conocido que la tasa de sudoración disminuye por una baja temperatura ambiente (Periard, Cramer, Chapman, Caillaud, y Thompson, 2011). Por tanto, una reducción en la tasa de líquido ingerido entrenando de $200 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ en una de las sesiones, en la que la media de líquido ingerido fue $820,4 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$, habría garantizado la cantidad mínima recomendada (Dennis et al., 1997). Sin embargo, en la otra sesión, la tasa de líquido ingerido estuvo por debajo de las recomendaciones ($597,2 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$), apuntando a que las necesidades de ingesta de líquido podrían diferir entre los atletas en silla de ruedas y atletas a pie, las cuales, podrían estar propiciadas por una menor movilización de la masa muscular

de los atletas en silla de ruedas, ya que la masa muscular se asocia al incremento de la producción de calor metabólica interna (Kenny y Flouris, 2014), Más aún, teniendo en cuenta la mayor atrofia muscular en las extremidades superiores que presenta nuestro participante (Banchs, et al, 2009), una posible solución, sería ceñirse a las recomendaciones de $500 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ de Urdampilleta y Gomez-Zorita, (2015).

El hecho de que nuestro atleta fuera capaz de mantener la masa corporal en ± 2 % tras el entrenamiento (Kenefick, 2018) con menor ingesta de líquido que la recomendada para atletas a pie, apoya nuestra hipótesis formulada previamente, de que siguiendo las recomendaciones de hidratación, sugeridas para atletas a pie, se minimizaría el impacto de la gran altitud sobre la masa corporal y se optimizarían los marcadores de estatus de hidratación como el HB, si bien en maratonianos de élite, se observan tasas de deshidratación por encima del 4 % de masa corporal (Beis, Wright-White, Fudge, Noakes, y Pitsiladis, 2012).

Una interesante observación llamativa fue la menor o igual PM SG comparada a AM SG, reflejando una óptima SG a lo largo del día, semana a semana (Tabla 1). Además, no se reportaron síntomas de AMS, que podría explicarse por un incremento en la diuresis al llegar a altitud en W_1 , pues la retención de agua se ha relacionado al AMS (Hackett, Rennie, Hofmeister, Grover, Grover, y Reeves, 1982; Milledge, 1992). Cabe destacar que ese incremento de diuresis pudo estar facilitado por alcanzar el objetivo de Fluido diario ($4 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$), recomendado en estancias en altitud por Randy Wilber (Wilber, 2004).

Por otro lado, el participante de estudio exhibió una pérdida de masa corporal de un 2 % durante una sesión a nivel del mar (16°C , 61 % humedad relativa), que es notoriamente menor a la reportada en maratonianos de élite a pie (- 8 %) (Cheuvront, Montain, y Sawka, 2007), si bien ya hemos destacado previamente que por encima del 4 % en maratonianos de élite es habitual (Beis, Wright-White, Fudge, Noakes, y Pitsiladis, 2012). Esta observación podría ser explicada por la menor masa muscular de nuestro deportista, la menor demanda metabólica asociada con actividades realizadas con extremidades superiores, además de las diferencias en intensidad entre ambos estudios. De hecho, una tasa de ingesta de líquido menor a los $600 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ propuestos para deportistas de resistencia (Dennis et al., 1997) habría sido efectiva para preservar un estado óptimo de hidratación, evitando la sobrehidratación que pueda conllevar a la temida hiponatremia (Kenefick, 2018). Por otro lado, en condiciones de elevada temperatura ambiental, el almacenamiento de calor en atletas en silla de ruedas será mayor que en atletas a pie, dado un aumento en los mecanismos de radiación y la limitación de eliminar calor por convección en las zonas cubiertas por el chasis (Griggs, Stephenson, Price, y Goosey-Tolfrey, 2020).

A tener en cuenta, el Na^+ no alcanzó la cantidad recomendada durante los rodajes $<VT1$ ($0,13 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) y sesiones específicas ($0,17 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) (von Duvillard et al., 2004). Sin embargo, Vrijens y Rehrer demostraron en un estudio con atletas de

resistencia masculinos que la hiponatremia inducía una menor diuresis y la reducción en producción de orina correlacionaba con un incremento en la pérdida de Na^+ ($r = -0,478$; $p = 0,0447$) (Vrijens y Rehner, 1999). Como este fenómeno no fue observado en nuestro estudio (Tabla 1), pensamos que los requerimientos de Na^+ en nuestro atleta se alcanzaron. Aunque nuestros resultados observados en Na^+ en W_1 , no están en línea con los reportados por Zaccaria et al., hay que destacar que la intensidad de las sesiones que nuestro atleta completó, fueron de una demanada inferior que la descrita en dicho estudio, con ejercicio físico hasta extenuación (Zaccaria et al., 1998). Hay que añadir que la ingesta diaria de Na^+ (1500 a 2300 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$) alcanzó el objetivo perseguido, acorde a la literatura existente (Cook et al., 2014).

5. CONCLUSIONES

En este estudio observamos que un atleta profesional en silla de ruedas aumentó en numerosas sesiones realizadas en altitud su equilibrio hídrico, cuando siguió tasas de hidratación propuestas para deportistas de resistencia convencionales, apuntando a que sus necesidades de hidratación podrían ser menores que las de los maratonianos a pie, si bien a nivel del mar y con temperaturas elevadas, la limitación de eliminar calor de estos deportistas, podría suponer una mayor demanda metabólica y deberíamos ajustar su ingesta hídrica, en función, del HB reportado en diferentes sesiones.

Se recomienda en futuros estudios con atletas de similares características y entrenando a gran altitud, se tenga en consideración lo siguiente:

1. El tipo y duración de la sesión
2. Implementar la medición de variables medidas no invasivas que permitan conocer el estatus de hidratación (SG, Na^+ ,...)
3. Medir la diuresis
4. Garantizar $\sim 500 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$ o $8 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ durante el entrenamiento y $4 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ de líquido diario
5. Monitorizar la temperatura ambiental, especialmente si desciende por debajo de 5°C

Todo ello, con el objetivo de mantener el rendimiento, reducir el estrés cardiovascular y evitar la hiponatremia durante sesiones de larga duración.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armstrong, L. E., Johnson, E. C., McKenzie, A. L., Ellis, L. A., & Williamson, K. H. (2015). Ultraendurance cycling in a hot environment: thirst, fluid consumption, and water balance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 869-876. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000822>.

- Banchs, I., Casasnovas, C., Alberti, A., De Jorge, L., Povedano, M., Montero, J., Martínez-Matos, J. A., & Volpini, V. (2009). Diagnosis of Charcot-Marie-Tooth Disease. *BioMed Research International*, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/985415>.
- Beis, L. Y., Wright-White, M., Fudge, B., Noakes, T., & Pitsiladis, Y. (2012). Drinking behaviours of elite male runners during marathon competition. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(3), 254-264. <http://dx.doi.org/10.1097/JSM.0b013e31824a55d7>.
- Burke, L. (1995). Practical issues in nutrition for athletes. *Journal of Sports Sciences*, 13, S83-S90. <http://dx.doi.org/10.1080/02640419508732281>.
- Buskirk, E. R., Kollias, J., Akers, R. F., Prokop, E. K., & Reategui, E. P. (1967). Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. *Journal of Applied Physiology*, 23(2), 259-266. <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1967.23.2.259>.
- Butterfield, G. E., Gates, J., Fleming, S., Brooks, G. A., Sutton, J. R., & Reeves, J. T. (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1741-1748. <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1992.72.5.1741>.
- Butterfield, G. E. (1996). Nutritional needs in cold and high-altitude environments: Applications for military personnel in field operations. Washington: National Academies Press. <http://dx.doi.org/10.17226/5197>.
- Chapman, R., & Levine, B. D. (2007). Altitude training for the marathon. *Sports Medicine*, 37(4-5), 392-395. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200737040-00031>.
- Cheuvront, S. N., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2007). Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports Medicine*, 37(4-5), 353-357. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200737040-00020>.
- Consolazio, C. F., Matoush, L. O., Johnson, H. L., & Daws, T. A. (1968). Protein and water balances of young adults during prolonged exposure to high altitude (4,300 meters). *American Journal of Clinical Nutrition*, 21(2), 154-161. <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/21.2.154>.
- Cook, N. R., Appel, L. J., Whelton, P. K. (2014). Lower levels of sodium intake and reduced cardiovascular risk. *Circulation*, 129(9), 981-989. <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.006032>.
- Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1997). Nutritional strategies to minimize fatigue during prolonged exercise: fluid, electrolyte and energy replacement. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 305-313. <http://dx.doi.org/10.1080/026404197367317>.
- Griggs, K. E., Stephenson, B. T., Price, M. J., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2020). Heat-related issues and practical applications for Paralympic athletes at Tokyo 2020. *Temperature*, 7(1), 37-57. <https://doi.org/10.1080/23328940.2019.1617030>.
- Hackett, P. H., Rennie, D., Hofmeister, S. E., Grover, R. F., Grover, E. B., & Reeves, J. T. (1982). Fluid retention and relative hypoventilation in acute mountain sickness. *Respiration*, 43(5), 321-329. <http://dx.doi.org/10.1159/000194501>.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science*

in *Sports & Exercise*, 41(1), 3-13.
<http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.

Kakamu, T., Wada, K., Smith, D. R., Endo, S., & Fukushima, T. (2017). Preventing heat illness in the anticipated hot climate of the Tokyo 2020 Summer Olympic Games. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 22(1), 68.
<https://doi.org/10.1186/s12199-017-0675-y>.

Kayser, B. (1994). Nutrition and energetics of exercise at altitude. Theory and possible practical implications. *Sports Medicine*, 15(5), 309-323.
<http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199417050-00004>.

Kenefick, R. W. (2018). Drinking strategies: Planned drinking versus drinking to thirst. *Sports Medicine*, 48(Suppl 1), 31-37. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-017-0844-6>.

Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014). The human thermoregulatory system and its response to thermal stress. En F. Wang & C. Guao (eds.), *Protective clothing. Managing thermal stress* (cap. 13, pp. 319-365). Sawston: Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781782420408.3.319>.

Maughan, R. J. (1991). Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. *Journal of Sports Sciences*, 9, 117-142.
<http://dx.doi.org/10.1080/02640419108729870>.

Milledge, J. S. (1992). Salt and water control at altitude. *International Journal of Sports Medicine*, 13(Suppl 1), S61-S63. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-1024596>.

Périard, J. D., Cramer, M. N., Chapman, P. G., Caillaud, C., Thompson, M. W. (2011). Cardiovascular strain impairs prolonged self-paced exercise in the heat. *Experimental Physiology*, 96(2), 134-144.
<http://dx.doi.org/10.1113/expphysiol.2010.054213>.

Rosety, M. A., Brenes-Martin, F., Pery, M. T., Elosegui, S., Rosety-Rodriguez, M., Diaz, A.J., Fornieles, G., Ordoñez, F.J., & Rosety, I. (2016). Riesgo de deshidratación entre deportistas y sedentarios con discapacidad intelectual / Incidence of Hypohydration in Athletes and Sedentary Male Adults with Intellectual Disability. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 16(62), 487-495. <http://dx.doi.org/10.15366/rimcafd2016.63.006>.

Rusko, H., Tikkanen, H. O., & Peltonen, J. E. (2004). Altitude and endurance training. *Journal of Sports Sciences*, 22(10), 928-944.
<http://dx.doi.org/10.1080/02640410400005933>.

Sanz-Quinto, S., López-Gruoso, R., Brizuela, G., Flatt, A. A., & Moya-Ramón, M. (2019). Influence of training models at 3900-m altitude on the physiological response and performance of a professional wheelchair athlete: A case study. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 33(6), 1714-1722.
<http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000002667>.

Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 377-390. <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>.

Shirrefs, S. M., Casa, D. J., & Carter, R. (2007). International Associations of Athletics Federations: Fluid needs for training and competition in athletics. *Journal*

of Sports Sciences, 25(Suppl 1), S83-S91.
<http://dx.doi.org/10.1080/02640410701607353>.

Spanish Ministry of Science and Innovation [Internet]. Madrid: Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA) [cited 2016 September 14]. Available from: <http://www.bedca.net/bdpub/index.php>.

Speedy, D. B., Noakes, T. D., Rogers, I. R., Thompson, J. M., Campbell, R. G., Kuttner, J. A., Boswell, D. R., Wright, S., & Hamlin, M. (1999). Hyponatremia in ultradistance triathletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(6), 809-815. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199906000-00008>.

Stover, E. A., Petrie, H. J., Passe, D., Horswill, C. A., Murray, B., & Wildman, R. (2006). Urine specific gravity in exercisers prior to physical training. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(3), 320-327. <http://dx.doi.org/10.1139/h06-004>.

Urdampilleta, A., & Gómez-Zorita, S. (2015). Aspectos ergonutricionales e interacciones fármaco-alimentarias en el alpinismo. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 15(58), 387-404. <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista58/artaspectos579.htm>.

Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., Häkkinen, H. (2016). Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(7), 1347-1354. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0000000000000910>.

Von Duvillard, S.P., Braun, W.A., Markofski, M., Beneke, R., & Leithäuser, R. (2004). Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition*, 20(7-8), 651-656. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2004.04.011>.

Vrijens, D. M., & Rehrer, N. J. (1999). Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 1847-1851. <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.1999.86.6.1847>.

Wilber, R. L. (2004). Altitude training and athletic performance. Champaign: Human Kinetics.

Zaccaria, M., Rocco, S., Noventa, D., Varnier, M., & Opocher, G. (1998). Sodium regulating hormones at high altitude: basal and post-exercise levels. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(2):570-574. <http://dx.doi.org/10.1210/jcem.83.2.4578>.

Número de citas totales / Total references: 36 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 2 (5,6%)