



# HIDRATACIÓN Y RENDIMIENTO AERÓBICO: IMPACTO DEL AMBIENTE

**Michael N. Sawka, PhD** | Escuela de Fisiología Aplicada | Instituto de Tecnología de Georgia | EUA

**Samuel N. Cheuvront, PhD y Robert W. Kenefick, PhD** | División de Medicina Térmica y de Montaña | Instituto de Investigación del Ejército de EU | EUA

## PUNTOS CLAVE

- Los atletas que se ejercitan en condiciones cálidas tienen tasas de sudoración altas que están en función de la intensidad metabólica y la carga de calor ambiental.
- Cuando las tasas de sudor son altas, el consumo de líquido ad libitum con frecuencia no es suficiente para reponer por completo las pérdidas de sudor ("deshidratación voluntaria") y resulta en deficiencias acumuladas de agua corporal.
- Un déficit de agua corporal >2% de masa corporal (~3% del agua corporal total para el atleta promedio) se define como hipohidratación.
- La hipohidratación no altera el rendimiento en el ejercicio aeróbico en ambientes fríos-frescos, y en ocasiones afecta el rendimiento en el ejercicio aeróbico en condiciones templadas.
- La hipohidratación generalmente afecta el rendimiento en el ejercicio aeróbico en ambientes cálidos.
- Cuando la temperatura de la piel excede 27°C (81°F), la hipohidratación perjudica el rendimiento aeróbico en ~1% adicional por cada 1°C (1.8°F) de elevación de temperatura de la piel.

## INTRODUCCIÓN

Los desequilibrios de agua corporal y electrolitos son comunes cuando se realiza ejercicio físico vigoroso y/o durante la exposición a los extremos ambientales de calor (Sawka et al., 2007), frío (Freund & Young, 1996) y gran altitud (Hoyt & Honig, 1996). En ambientes calientes, las tasas altas de sudoración pueden sostenerse por muchas horas resultando en desequilibrios de agua corporal y electrolitos (Montain et al., 2006). Durante exposiciones al frío y gran altitud, las deficiencias de agua corporal se deben parcialmente al aumento de la producción de orina. Sin embargo, las tasas de sudor también pueden elevarse mientras se realiza trabajo físico vigoroso en gran altitud, ambientes fríos, debido a las altas cargas de calor radiante (Gonzalez et al., 2012) y utilizar ropa o equipo pesado (Young et al., 2000). Cuando la pérdida de agua corporal excede 2% de la masa corporal, puede perjudicarse el rendimiento en el ejercicio aeróbico (Sawka et al., 2007; Sawka et al., 2015).

## BALANCE DE LÍQUIDOS Y AGUA CORPORAL

El agua (agua corporal total) es el principal químico constituyente del cuerpo humano. Para un varón adulto joven promedio, el agua corporal total representa 50-70% del peso corporal (Institute of Medicine, 2005). La variabilidad en el agua corporal total se debe principalmente a diferencias en la composición corporal. La masa corporal magra es ~73% agua y la masa corporal grasa es ~10% agua (Institute of Medicine, 2005). Entonces para un atleta promedio, un déficit de agua corporal de 2% de la masa corporal será ~3% del agua corporal total y ~5-10% del agua corporal total está intercambiándose diariamente, distribuida por medio de las vías de pérdida de líquido obligatorias (no de ejercicio).

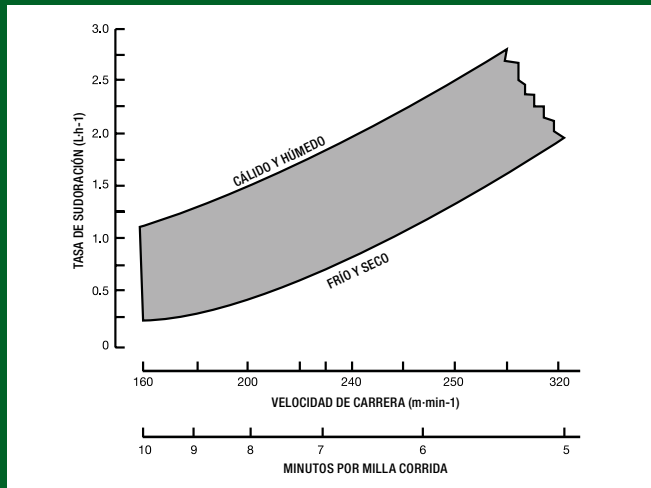
La Tabla 1 proporciona las fuentes de pérdidas y producción de agua diarias para poblaciones sedentarias y activas (Sawka et al., 2005). El agua metabólica se forma por la oxidación de sustratos y se compensa aproximadamente por las pérdidas de agua por respiración. La producción de orina generalmente se aproxima a 1-2 L (1.05-2.11 qt.) por día pero

puede aumentar marcadamente cuando se consumen grandes cantidades de líquido. Esta gran capacidad de variar la producción de orina representa la principal vía para regular el agua corporal neto y el balance de solutos a través de una amplia variedad de volúmenes de consumo de líquido y pérdidas por otras vías (Institute of Medicine, 2005). Las pérdidas por sudor varían ampliamente y dependen del nivel de actividad física y las condiciones ambientales con temperatura ambiente, carga de calor radiante y alta humedad, elevando marcadamente los requerimientos de sudoración (Gonzalez et al., 2009). La Figura 1 proporciona una aproximación de las tasas de sudor por hora para atletas corriendo a diferentes velocidades y expuestos a diferentes condiciones ambientales (Sawka, 1992). Las tasas de sudoración >1 L/h (1.05 qt.) son comunes debido a intensidades metabólicas altas y/o estrés por calor ambiental.

Fuente	Pérdida (mL/día)	Producción (mL/día)
Pérdida respiratoria	-250 a -350	
Pérdida urinaria	-500 a -1,000	
Pérdida fecal	-100 a -200	
Pérdidas insensibles	-450 a -1,900	
Producción metabólica		+250 a +350*
<b>Total</b>	<b>-1,300 a -3,450</b>	<b>+250 a +350</b>
<b>Pérdida neta (Sedentario)</b>	<b>-1,050 a -3,100</b>	
Pérdidas de sudor en varios deportes	-455 a -3,630	
<b>Pérdida neta (Atleta)</b>	<b>-1,550 a -6,730</b>	

Tabla modificada de Sawka et al. (2005). \*Producción de agua metabólica con base en un gasto de energía diario de 2,500-3,000 kcal. Se asume que la producción de agua adicional con el ejercicio se compensa por pérdidas respiratorias paralelas (como se ilustra arriba con el reposo).

**Tabla 1.** Pérdidas y producción de agua diaria.



**Figura 1:** Aproximación de tasas de sudoración por hora para corredores a diferentes ritmos y condiciones de estrés por calor (Sawka 1992).

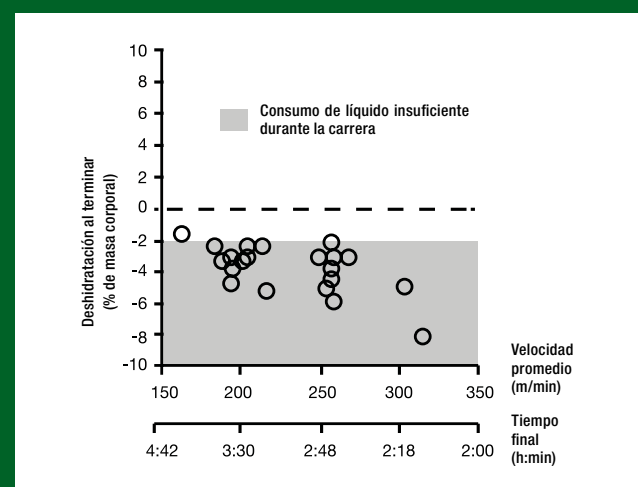
El balance de agua corporal (pérdida=ganancia) se regula notablemente bien a diario como resultado de los impulsos de sed y hambre, junto al acceso ad libitum de alimentos y bebidas para compensar las pérdidas de agua (Institute of Medicine, 2005). Esto se consigue por una interacción intrínseca entre respuestas neuroendócrinas y renales por los cambios de volumen de agua corporal y electrolitos, así como factores que no son reguladores como sociales y de conducta. Estas respuestas homeostáticas fisiológicas en conjunto aseguran que pequeños grados de sobre o hipo hidratación se compensen fácilmente a corto plazo (Institute of Medicine, 2005).

Durante períodos de tasas de sudoración altas ( $>1.0$  L/h; 1.05 qt/h), los humanos activos que beben ad libitum con frecuencia tendrán un consumo bajo (Adolph, 1947; Adolph & Dill, 1938; Bean & Eichna, 1945; Greenleaf et al., 1983; Greenleaf & Sargent, II, 1965) e incurrirán en un déficit de agua corporal (Cheuvront & Haymes, 2001; Sawka et al., 2007). En la Figura 2 se marcan los déficits de agua corporal incurridos por corredores que practican el consumo de líquido ad libitum a diferentes ritmos en carreras de maratón compitiendo a través de una variedad de condiciones ambientales de fresco a cálido (Cheuvront et al., 2007). Es notable que la mayoría de los corredores alcanzaron déficits de agua corporal  $>2\%$  de su masa corporal inicial.

### DÉFICITS DE AGUA CORPORAL

La hipohidratación se define como un déficit de agua corporal mayor que la fluctuación diaria normal (Cheuvront & Kenefick, 2014). Los cambios en el estado de hidratación pueden evaluarse por una variedad de medidas corporales; sin embargo, todos tienen serias limitaciones (Cheuvront & Kenefick, 2014). Debido a la baja variabilidad en la medición, los cambios en la masa corporal proporcionan la medición más sensible y simple para determinar los cambios agudos en el agua corporal para todos los tipos de deshidratación (Cheuvront et al., 2013; Cheuvront & Kenefick, 2014; Institute of Medicine, 2005; Sawka et al., 2007). Los déficits de agua corporal  $>2\%$  de la masa corporal exceden dos desviaciones estándar en la variabilidad de la masa corporal normal (Adolph & Dill, 1938; Cheuvront et al., 2004) y representan un umbral

aproximado (con base en las reducciones del volumen plasmático y los aumentos en la osmolalidad del plasma) donde ocurren acciones reguladoras de compensación de líquidos (Cheuvront et al., 2013, 2014).



**Figura 2:** Gráfico de velocidad de carrera promedio para el tiempo en terminar 42 km contra la magnitud de hipohidratación después de la carrera cuando se consume líquido ad libitum (Cheuvront et al., 2007).

La reposición incompleta de líquido disminuye el agua corporal total, y como una consecuencia del intercambio libre de líquidos, afecta cada espacio de líquido y disminuirá el volumen sanguíneo (plasma) (Institute of Medicine, 2005). El volumen plasmático disminuye porque proporciona el líquido para el sudor, y como resultado, la osmolalidad aumenta porque el sudor es hipotónico (pobre en sodio) en relación al plasma. La hiperosmolalidad del plasma actúa para jalar líquido del espacio intracelular al extracelular para activar la defensa del volumen plasmático cuando los individuos llegan a estar hipohidratados (Mack & Nadel, 1996). El uso de diuréticos (por ejemplo, furosamida) para propósitos médicos aumenta la formación de orina y generalmente resulta en la pérdida tanto de electrolitos como de agua. La hipohidratación inducida por diurético generalmente resulta en una hipovolemia iso-osmótica, con una tasa mucho mayor de pérdida de plasma en relación a la pérdida de agua intracelular que es típica de la hipohidratación inducida por el ejercicio o el calor (Cheuvront et al., 2013). Consistente con esto, los estresores ambientales de frío (Young et al., 1987) y gran altitud (Hoyt & Honig, 1996) estimulan la producción de orina y excreción de electrolitos, induciendo así una hipovolemia iso-osmótica (Cheuvront et al., 2013).

### AMBIENTE Y RENDIMIENTO AERÓBICO

#### Temperatura ambiental

Durante el ejercicio en el calor, la responsabilidad fisiológica más significativa es mantener un alto flujo sanguíneo a la piel para la disipación del calor (Nybo et al., 2014; Sawka et al., 2011c). La temperatura de la piel se eleva en proporción a la temperatura y la humedad del ambiente. La Figura 3A ilustra la relación generalmente lineal entre la temperatura ambiental y la temperatura de la piel (Adams, 1977) con un cálculo de nuevo del 95% del intervalo de confianza para ilustrar los efectos modificadores del flujo de aire y el sol sobre la relación agrupada. Las temperaturas de la piel se elevarán hacia el límite superior del intervalo

de confianza por la humedad alta, uso de uniformes/ropa que proteja y exposición a la radiación solar. Las temperaturas de la piel se reducirán hacia el límite inferior del intervalo de confianza por la exposición al movimiento fuerte del aire, el cual incrementa la evaporación del sudor. La piel caliente se asocia con un mayor flujo sanguíneo a la piel y elasticidad venosa cutánea, con aumentos en el estrés cardiovascular (Nybo et al., 2014; Sawka et al., 2011c). En general, entre más caliente la piel, mayor la respuesta de flujo sanguíneo a la piel y mayor la elevación de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio en el calor. El incremento en la frecuencia cardíaca se presenta al reducirse el llenado cardíaco y el volumen latido, proporcionando así un reto para mantener la presión sanguínea (Nybo et al., 2014; Sawka et al., 2011c). Así, durante el ejercicio en el calor con tasas altas de sudoración, hay el problema simultáneo de disminución del volumen plasmático por la deshidratación además del aumento en los requerimientos de flujo sanguíneo a la piel. Esta doble perturbación (disminución del volumen plasmático con aumento en el flujo sanguíneo a la piel) es probablemente un mecanismo fisiológico importante (por medio del sistema cardiovascular) que contribuye a disminuir el rendimiento aeróbico (Cheuvront et al., 2010; Cheuvront & Kenefick, 2014; Nybo et al., 2014; Sawka et al., 2015).

Generalmente se acepta que el estrés por calor solo, afectará el rendimiento aeróbico (Nybo et al., 2014), mientras que el estrés por frío solo no impacta el rendimiento aeróbico a menos de que la temperatura sea lo suficiente para afectar adversamente la función del músculo esquelético y la conducción nerviosa (Sawka et al., 2011a). Los primeros experimentos con respecto a las deficiencias de agua corporal y la capacidad de ejercicio fueron realizados en militares y claramente concluyeron que en ambientes cálidos, la reposición de líquidos resultó en un mejor mantenimiento de la marcha/rendimiento en la resistencia militar tanto en pruebas de laboratorio como en campo (Adolph, 1947; Bean & Eichna, 1945; Ladell, 1955). Estudios posteriores que emplearon una variedad de protocolos de pruebas de resistencia submáximos y máximos generalmente han confirmado las primeras observaciones (Cheuvront & Kenefick, 2014). El impacto negativo de la hipohidratación sobre el rendimiento aeróbico quizá esté relacionado al estrés por calor ambiental. Durante ambientes de estrés por frío (2–10°C; 35–50°F), la hipohidratación no altera el rendimiento aeróbico (Cheuvront et al., 2005; Kenefick et al., 2010). Durante condiciones templadas (20–24°C; 68–75°F), la hipohidratación puede que afecte (Cheuvront et al., 2005; Fallowfield et al., 1996; McConell et al., 1997; Merry et al., 2010) o no afecte (Kenefick et al., 2010; McConell et al., 1999; Oliver et al., 2007) el rendimiento aeróbico. Durante condiciones calientes (>25°C; >77°F) la hipohidratación generalmente (Below et al., 1995; Castellani et al., 2010; Cheung & McLellan, 1998; Ebert et al., 2007; Kenefick et al., 2010; Sawka, 1992; Walsh et al., 1994), pero no siempre (Cheung et al. 2015) afecta el rendimiento aeróbico.

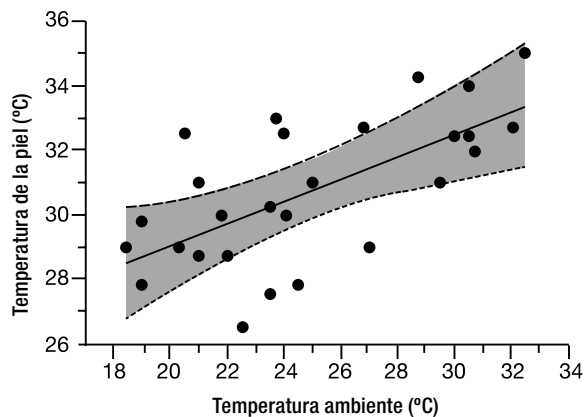
En la Figura 3B se marca el impacto de la hipohidratación sobre el rendimiento aeróbico submáximo a partir de varios estudios de hipohidratación (Castellani et al., 2010; Cheuvront et al., 2005; Kenefick et al., 2010) realizados en nuestro laboratorio (Sawka et al., 2011b). Estos estudios emplearon procedimientos similares sobre un amplio rango de temperaturas de la piel de 20–36°C (68–97°F). Se utilizó regresión segmentada para aproximar el umbral estadístico de la temperatura de la piel para la disminución en el rendimiento utilizando puntos individuales de datos de estudios (n=53 observaciones pareadas). El umbral que mejor minimizó las sumas residuales de los cuadrados se mostró como 27.3°C (81°F) y la piel más caliente acentuó la disminución en el rendimiento en ~1.5% por cada aumento adicional de 1°C (1.8°F) en la temperatura de la piel. Por lo tanto, conforme las condiciones del ambiente llegan a estar más calientes, resultando en una elevación en la vasodilatación cutánea, el impacto adverso de la hipohidratación es claramente evidente (Sawka et al., 2011b).

Además del rendimiento en el ejercicio aeróbico submáximo, también se ha reportado que la hipohidratación consistentemente afecta el rendimiento aeróbico de intensidad máxima. Varios documentos de revisión han abordado el impacto de la hipohidratación sobre la deficiencia en el rendimiento en ejercicio aeróbico de intensidad máxima (Cheuvront & Kenefick, 2014; Sawka et al., 1984).

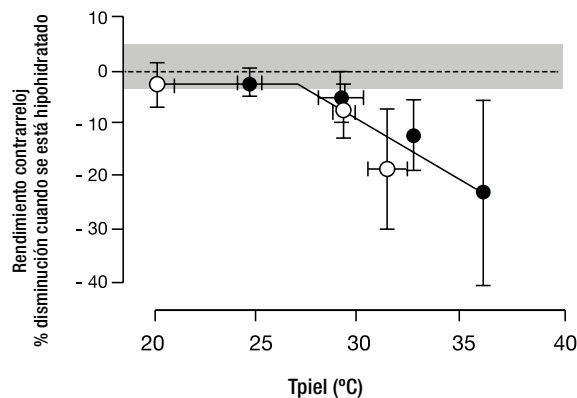
### Gran altitud terrestre

El esfuerzo físico a gran altitud probablemente induce tasas de sudoración comparables a aquellas al nivel del mar para un estrés por calor determinado (Gonzalez et al., 2013); sin embargo, las pérdidas respiratorias de agua se elevan a gran altitud (Hoyt & Honig, 1996).

3A:



3B:



**Figura 3: (Panel A)** Relación lineal aproximada entre condiciones ambientales y temperatura de la piel durante ejercicio aeróbico mientras se utiliza el mínimo de ropa, redibujado de Adams (1977), las líneas discontinuas representan el 95% del intervalo de confianza. **(Panel B)** Porcentaje de disminución en el rendimiento aeróbico submáximo desde euhidratación como una función de la temperatura de la piel cuando hay una hipohidratación del 4% de la masa corporal, de Sawka et al. (2011b).

Además, con la exposición a la gran altura hay una reducción diurética proporcionada en el volumen plasmático (Young & Sawka, 2002). Así, a gran altitud la hipohidratación puede ocurrir tanto por la pérdida de sudor como por las adaptaciones al ambiente.

Castellani y colaboradores (2010) examinaron el impacto de la hipohidratación (4% de la pérdida de masa corporal) sobre el rendimiento aeróbico submáximo en altura. Sus sujetos realizaron pruebas contrarreloj en un ambiente cálido (27°C; 80°F) cuando estaban euhydratados (hidratación normal) e hipohidratados, tanto a nivel del mar como en una cámara hipobárica para simular la gran altitud (3,048 m; 10,000 ft.). Encontraron que el rendimiento en el ejercicio aeróbico cuando estaban hipohidratados a nivel del mar se afectó en un 19% comparado a cuando estaban euhydratados a nivel del mar. Además, el rendimiento en el ejercicio aeróbico disminuyó en 11% cuando estaban euhydratados a gran altitud y 34% al estar hipohidratados a gran altura. Además, Girard y Racinais (2014) reportaron que la exposición al calor y la hipoxia (35°C, concentración de oxígeno inspirado de 15%) resultó en una reducción de 51% en una tarea de ciclismo hasta el agotamiento al comparar con condiciones control (templado/nivel del mar), pero también afectó el rendimiento al comparar con condiciones de calor/nivel del mar o templado/altitud. Por lo tanto, la exposición a la altitud/hipohidratación y la altitud/calor tienen efectos aditivos sobre el deterioro del rendimiento.

## MECANISMOS DE DISMINUCIÓN DEL RENDIMIENTO AERÓBICO

La hipohidratación afecta el rendimiento aeróbico cuando está presente el estrés por calor y este impacto adverso se acentúa con la exposición a la gran altitud. El estrés por calor es único porque induce una tensión cardiovascular considerable para soportar los requerimientos de flujo sanguíneo a la piel e hipertermia (temperatura central y de la piel elevadas). La Tabla 2 resume brevemente los mecanismos fisiológicos que afectan el rendimiento aeróbico durante el estrés por calor. Es importante notar que la hipohidratación empeora todos los mecanismos fisiológicos propuestos que se piensa limitan el rendimiento aeróbico por sólo el estrés por calor. Sin embargo, es claro que la elevación en la tensión cardiovascular inducida por la hipohidratación probablemente es un factor crítico principal necesario para afectar el rendimiento aeróbico. Además, el posible papel de la sed no se ha definido claramente (Cheung et al., 2015).

## IMPLICACIONES PRÁCTICAS

- Cuando está caliente afuera y esté realizando ejercicio o utilizando equipo pesado, asegúrese de estar bien hidratado antes de iniciar el ejercicio al monitorear su peso, orina y sed (vea SSE #97).
- Cuando haga ejercicio, reponga sus pérdidas de sudor y no se deshidrate por más de 2% de su peso corporal.
- Si ocurre una pérdida aguda de masa corporal  $\geq 2\%$  durante el ejercicio de resistencia, el rendimiento puede afectarse negativamente.
- Sin tener en cuenta el estado de hidratación, el rendimiento en el ejercicio aeróbico se afecta en la altitud al comparar con el nivel del mar, aunque los efectos negativos sobre el rendimiento en el calor y la altitud son aditivos.
- La hipohidratación no altera el rendimiento en el ejercicio aeróbico en ambientes fríos-frescos, y en ocasiones afecta el rendimiento en ejercicio aeróbico en condiciones templadas.

- La hipohidratación generalmente afecta el rendimiento en el ejercicio aeróbico en ambientes calientes.
- Cuando la temperatura de la piel excede 27°C (81°F), la hipohidratación afecta el rendimiento aeróbico en ~1% adicional por cada elevación de 1°C (1.8°F) en la temperatura de la piel.

### Cardiovascular

Ej: Presión y flujo sanguíneo, Entrega de oxígeno y Remoción de metabolitos

### SNC y Neurobiológico

Ej: Metabolismo cerebral, Niveles de neurotransmisores, Temperatura

### Factores musculares periféricos

Ej: Temperatura, Metabolismo, Retroalimentación aferente

### Psicológicos

Ej: Confort térmico, Valor de esfuerzo percibido, Motivación y Expectativas

### Respiración

Ej: Hipocapnia, Alcalosis, Sensaciones de respiro

Tabla modificada de: Nybo et al., 2014. Donde SNC se refiere al Sistema Nervioso Central.

**Tabla 2:** Mecanismos fisiológicos que contribuyen potencialmente a afectar el rendimiento en el ejercicio en ambientes calientes.

## CONCLUSIONES

La hipohidratación generalmente afecta el rendimiento aeróbico durante condiciones cálidas y la exposición a la gran altitud acentuará esta disminución del rendimiento. El mecanismo más importante es probablemente la elevación adicional en la tensión cardiovascular inducida por la hipohidratación, hipertermia e hipoxia.

## RECONOCIMIENTO

Las opiniones o afirmaciones contenidas aquí son los puntos de vista privados de los autores y no deben considerarse como oficiales o que reflejen los puntos de vista del Ejército o el Departamento de Defensa. Aprobado para liberación pública: Distribución ilimitada.

## REFERENCIAS

- Adams, W.C. (1977). Influence of exercise mode and selected ambient conditions on skin temperature. *Ann. New York Acad. Sci.* 301:110-127.
- Adolph, E.F. (1947). *Physiology of Man in the Desert*. New York: Intersciences Publishers, Inc.
- Adolph, E.F., and D.B. Dill (1938). Observations on water metabolism in the desert. *Am. J. Physiol.* 123:369-499.
- Bean, W.B., and L.W. Eichna (1945). Performance in relation to environmental temperature: reactions of normal young men to simulated desert environment. *Fed. Proc.* 2:144-158.
- Below, P.R., R. Mora-Rodríguez, J. González-Alonso, and E.F. Coyle (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1h of exercise. *Med. Sci. Sports Exerc* 27:200-210.
- Castellani, J.W., S.R. Muza, S.N. Chevront, I.V. Sils, C.S. Fulco, R.W. Kenefick, B.A. Beidleman, and M.N. Sawka (2010). Effect of hypohydration and altitude exposure on aerobic exercise performance and acute mountain sickness. *J. Appl. Physiol* 109:1792-1800.
- Cheung, S.S., and T.M. McLellan (1998). Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J. Appl. Physiol.* 84:1731-1739.
- Cheung, S.S., G.W. McGarr, M.M. Mallette, P.J. Wallace, C.L. Watson, I.M. Kim, and M.J. Greenway (2015). Separate and combined effects of dehydration and thirst sensations on exercise performance in the heat. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 25(Suppl. 1) : 104-111.

- Cheuvront, S.N., and R.W. Kenefick (2014). Dehydration: Physiology, assessment, and performance effects. *Compr. Physiol.* 4:257-285.
- Cheuvront, S.N., and E.M. Haymes (2001). Ad libitum fluid intakes and thermoregulatory responses of female distance runners in three environments. *J Sports Sci.* 19:845-854.
- Cheuvront, S.N., R. Carter, III, S.J. Montain, and M.N. Sawka (2004). Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14:532-540.
- Cheuvront, S.N., R. Carter, J.W. Castellani, and M.N. Sawka (2005). Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J. Appl. Physiol.* 99:1972-1976.
- Cheuvront, S.N., S.J. Montain, and M.N. Sawka (2007). Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports Med.* 37:353-357.
- Cheuvront, S.N., R.W. Kenefick, S.J. Montain, and M.N. Sawka (2010). Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *J. Appl. Physiol* 109:1989-1995.
- Cheuvront, S.N., R.W. Kenefick, N. Charkoudian, and M.N. Sawka (2013). Physiologic basis for understanding quantitative dehydration assessment. *Am. J. Clin. Nutr.* 97:455-462.
- Ebert, T.R., D.T. Martin, N. Bullock, I. Mujika, M.J. Quod, L.A. Farthing, L.M. Burke, and R.T. Withers (2007). Influence of hydration status on thermoregulation and cycling hill climbing. *Med. Sci. Sports Exerc* 39:323-329.
- Fallowfield, J.L., C. Williams, J. Booth, B.H. Choo, and S. Grouns (1996). Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running. *J Sports Sci.* 14:497-502.
- Freund, B.J., and A.J. Young (1996). Environmental influences body fluid balance during exercise: cold exposure. In: E.R. Buskirk and S.M. Puhl (eds.), *Body Fluid Balance: Exercise and Sport*, New York: CRC Press, pp. 159-181.
- Girard, O. and S. Racinais (2014). Combining heat stress and moderate hypoxia reduces cycling time to exhaustion without modifying neuromuscular fatigue characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol* 114:1521-1532.
- Gonzalez, R.R., S.N. Cheuvront, S.J. Montain, D.A. Goodman, L.A. Blanchard, L.G. Berglund, and M.N. Sawka (2009). Expanded prediction equations of human sweat loss and water needs. *J. Appl. Physiol* 107:379-388.
- Gonzalez, R.R., S.N. Cheuvront, B.R. Ely, D.S. Moran, A. Hadid, T.L. Endrusick, and M.N. Sawka (2012). Sweat rate prediction equations for outdoor exercise with transient solar radiation. *J. Appl. Physiol* 112:1300-1310.
- Gonzalez, R.R., R.W. Kenefick, S.R. Muza, S.W. Hamilton, and M.N. Sawka (2013). Sweat rate and prediction validation during high-altitude treks on Mount Kilimanjaro. *J. Appl. Physiol* 114:436-443.
- Greenleaf, J.E., and F. Sargent, II (1965). Voluntary dehydration in man. *J. Appl. Physiol.* 20:719-724.
- Greenleaf, J.E., P.J. Brock, L.C. Keil, and J.T. Morse (1983). Drinking and water balance during exercise and heat acclimation. *J. Appl. Physiol.* 54:414-419.
- Hoyt, R.W., and A. Honig (1996). Body fluid and energy metabolism at high altitude. In: *Am. Physiol. Soc. (eds.), Handbook of Physiology: Environmental Physiology*, Bethesda, MD, pp. 1277-1289.
- Institute of Medicine (2005). *Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Kenefick, R.W., S.N. Cheuvront, L.J. Palombo, B.R. Ely, and M.N. Sawka (2010). Skin temperature modifies the impact of hypohydration on aerobic performance. *J. Appl. Physiol* 109:79-86.
- Ladell, W.S.S. (1955). The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J. Physiol.* 127:11-46.
- Mack, G.W., and E.R. Nadel (1996). Body fluid balance during heat stress in humans. In: M.J. Fregly and C.M. Blatteis (eds.), *Environmental Physiology*, New York: Oxford University Press, pp. 187-214.
- McConell, G.K., C.M. Burge, S.L. Skinner, and M. Hargreaves (1997). Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 160:149-156.
- McConell, G.K., T.J. Stephens, and B.J. Canny (1999). Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:386-392.
- Merry, T.L., P.N. Ainslie, and J.D. Cotter (2010). Effects of aerobic fitness on hypohydration-induced physiological strain and exercise impairment. *Acta Physiol.* 198:179-190.
- Montain, S.J., S.N. Cheuvront, and M.N. Sawka (2006). Exercise associated hyponatraemia: quantitative analysis to understand the aetiology. *Br. J. Sports Med.* 40:98-105.
- Nybo, L., P. Rasmussen, and M.N. Sawka (2014). Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Compr. Physiol.* 4:657-689.
- Oliver, S.J., S.J. Laing, S. Wilson, J.L. Bilzon, and N. Walsh (2007). Endurance running performance after 48 h of restricted fluid and/or energy intake. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:316-322.
- Sawka, M.N. (1992). Physiological consequences of hydration: Exercise performance and thermoregulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:657-670.
- Sawka, M.N., R.P. Francesconi, A.J. Young, and K.B. Pandolf (1984). Influence of hydration level and body fluids on exercise performance in the heat. *J. Am. Med. Assoc.* 252:1165-1169.
- Sawka, M.N., S.N. Cheuvront, and R. Carter, III (2005). Human water needs. *Nutr. Rev.* 63:S30-S39.
- Sawka, M.N., L.M. Burke, E.R. Eichner, R.J. Maughan, S.J. Montain, and N.S. Stachenfeld (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc* 39:377-390.
- Sawka, M.N., J.W. Castellani, S.N. Cheuvront, and A.J. Young (2011a). Physiological systems and their responses to conditions of heat and cold. In: P.A. Farrell, M.J. Joyner, and V.J. Caiozzo (eds.), *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 567-602.
- Sawka, M.N., S.N. Cheuvront, and R.W. Kenefick (2011b). High skin temperature and hypohydration impairs aerobic performance. *Exp. Physiol.* 97:327-332.
- Sawka, M.N., L.R. Leon, S.J. Montain, and L.A. Sonna (2011c). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Compr. Physiol.* 1:1883-1928.
- Sawka M.N., S.N. Cheuvront and R.W. Kenefick (2015). Hypohydration and human performance: Impact of environment and mechanisms. *Sports Med.* 45:(Suppl 1)551-560.
- Walsh, R.M., T.D. Noakes, J.A. Hawley, and S.C. Dennis (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.* 15:392-398.
- Young, A.J., and M.N. Sawka (2002). Blood volume changes during altitude acclimatization: Implications for aerobic performance. In: J. Moravec, N. Takeda, and P.K. Singal (eds.), *Adaptation Biology and Medicine*, New Delhi: Narosa Publishing House, pp. 191-201.
- Young, A.J., S.R. Muza, M.N. Sawka, and K.B. Pandolf (1987). Human vascular fluid responses to cold stress are not altered by cold acclimation. *Undersea Biomed. Res.* 14:215-228.
- Young, A.J., C. O'Brien, M.N. Sawka, and R.R. Gonzalez (2000). Physiological problems associated with wearing NBC protective clothing during cold weather. *Aviat. Space Environ. Med.* 71:184-189.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Sawka, M., Cheuvront S. And Kenefick, R. (2015). Hydration & Aerobic Performance: Impact of Environment. *Sports Science Exchange* 152, Vol. 28, No. 152, 1-5, por Lourdes Mayol, M.Sc.