



# IMPACTO DE LA ALTITUD Y EL CALOR SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL FUTBOL



**Lee Taylor** | Profesor en Fisiología del Ejercicio | Departamento de Ciencias del Deporte y Actividad Física | Universidad de Bedfordshire | Bedfordshire | Reino Unido

**Ian Rollo** | Científico Principal | Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte | Leicester | Reino Unido

## PUNTOS CLAVE

- El fútbol se juega en diversas condiciones ambientales incluyendo calor o hipoxia extrema.
- Las condiciones ambientales de hipoxia y calor se asocian con reducciones en la carrera a alta velocidad y específicamente en las distancias de sprint, ambas pueden influenciar directamente el resultado de un partido.
- Los efectos negativos de la hipoxia se pueden contrarrestar en parte por un periodo de aclimatización a la altitud el cual es dependiente de la altitud en la cual será el juego. La preparación nutricional deberá incluir nitratos, así como hierro en la alimentación.
- Ciertas estrategias específicas pueden atenuar algunas de las reducciones en el rendimiento del fútbol inducidas por el calor, incluyendo protocolos específicos de aclimatización al calor, métodos mixtos de enfriamiento (pre-competencia o al medio tiempo) y mantenimiento del estado de hidratación antes y durante el juego.
- Se requiere más investigación para modificar y optimizar las intervenciones que cumplan con las demandas específicas de un partido de fútbol en ambientes extremos de calor y altitud.

## INTRODUCCIÓN

En muchos países alrededor del mundo se juega el fútbol. Es un deporte de alta intensidad, intermitente, jugado normalmente en 90 minutos, consistiendo en dos medios de 45 minutos, con un intervalo de 15 minutos. Durante el juego, el rendimiento físico de los jugadores se caracteriza principalmente por la distancia total recorrida en un juego, la distancia total de sprints y la ejecución de habilidades técnicas (pases, tiros o éxito en los cortes). Las demandas físicas del fútbol son, a su vez, dependientes de la interacción compleja del sistema cardiovascular y músculo esquelético apoyados por los sistemas de aporte de energía aeróbico y anaeróbico para estas actividades específicas del fútbol (Bangsbo, 2014; Mohr et al., 2005). Los eventos que definen un juego son generalmente correlacionados con la integración exitosa de la carrera de alta intensidad y las capacidades técnicas. Por ejemplo, es más frecuente ver un sprint recto previo a que se anote un gol. Por lo tanto, el sprint es dependiente de la habilidad transitoria de realizar sprints repetidos y completar exitosamente el tiro es parte de las habilidades técnicas (Mohr et al., 2012; Faude et al., 2012).

Entre juegos competitivos y no competitivos de fútbol, las investigaciones en calor han reportado una reducción de las distancias totales a alta intensidad alcanzadas por los jugadores (2.6-57%) (Mohr et al., 2003; Mohr et al., 2004; Grantham et al., 2010; Mor et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013) y en ambientes hipóxicos (3.1-20%) (McSharry, 2007; Garvican et al., 2013; Nassis 2013). La frecuencia cardiaca promedio y la acumulación de lactato se ha reportado sin cambios en ambientes calurosos, a pesar de las alteraciones previamente mencionadas en las distancias totales cubiertas en carrera a alta intensidad (Mohr et al., 2012). Durante el ejercicio en ambientes hipóxicos, se han observado alteraciones mayores en los procesos metabólicos (Billaut & Aughey, 2013) en conjunto con la reducción en la capacidad de carrera (McSharry, 2007; Garvican et al., 2013; Nassis, 2013).

La cuantificación de las reducciones causadas por el medio ambiente en el rendimiento del fútbol es importante para la directiva, oficiales médicos y entrenadores (Mohr et al., 2012; Nassis, 2013). Los clubes elite que juegan en las ligas de Campeones y de Europa de la Unión Europea de Fútbol Asociación (UEFA) pueden jugar en altitudes tan altas como 1000 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo se clasifican como "bajas altitudes" entre 500 y 2000 metros, las cuales son suficientes para producir alteraciones menores en el rendimiento aeróbico, debido a una reducción en la presión parcial de oxígeno (Gore et al., 2013; Bartsch et al., 2008). La reducción en el consumo máximo de oxígeno inhibirá la recuperación de sprints repetidos e inhibirá las distancias totales cubiertas en un juego. Aparte de la hipoxia, los mismos clubes elite pueden jugar en temperaturas de >30°C durante las etapas tempranas o tardías de la temporada. Más aún, dos de las próximas tres Copas del Mundo (Brasil: 2014; Qatar: 2022) de la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA) se jugarán en calor extremo de 30°C aproximadamente y puedan exceder posiblemente >40°C respectivamente. El estrés por calor por ejercicio (EHS, por sus siglas en inglés) causa reducciones sustanciales en el rendimiento específico del fútbol, debido al incremento de la temperatura corporal entre otros mecanismos multifactoriales que aceleran la fatiga (Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013).

De esta forma, las altas temperaturas ambientales y las reducciones en la presión parcial de oxígeno (como se ve en grandes altitudes; hipoxia) pueden la realización de las actividades específicas del fútbol (Garvican et al., 2013; Mohr & Krstrup, 2013), la recuperación de esfuerzos de alta intensidad (Mohr et al., 2003; Garvican et al., 2013) así como la reducción de las habilidades (Banderet & Lieberman, 2989; Mohr et al., 2012; Nassis, 2013). Por lo tanto, son de interés las intervenciones potenciales que reduzcan cualquiera de las influencias negativas de

ambientes extremos, lo cual tendrá un impacto significativo en el resultado del juego. Para esto, es importante que los entrenadores, analistas del rendimiento y los científicos del deporte cuantifiquen con exactitud y entiendan las diferencias y complejidades del perfil de actividad de los jugadores, con o sin ambientes extremos, para optimizar y racionalizar intervenciones y recomendaciones prácticas (Di Salvo et al., 2006; Di Salvo et al., 2007).

## HIPOXIA Y EL FUTBOL

Se cree que cuando se realiza ejercicio en altitud la composición del aire atmosférico se altera. Sin embargo, no es cierto, ya que el oxígeno se mantiene a 20.93% sea a nivel del mar o a una altura moderada (2,000 m a 3,000 m) o alta (3,000 m a 5,000 m) (Bartsch et al., 2008), Tabla 1). Lo que ocurre realmente es que se reduce la presión parcial del oxígeno (y otros gases ambientales los cuales disminuyen mientras más alto se ascienda) reduciendo el número total de moléculas de oxígeno inspiradas en cada inhalación. Aunque se observan ajustes metabólicos y fisiológicos al realizar ejercicio de intensidad parecida a un juego en ambientes con bajo oxígeno, comparado con ambientes a nivel del mar, éstos no son suficientes para compensar la presión parcial de oxígeno reducida. Al comprometerse el aporte de oxígeno, específicamente el número total de moléculas de oxígeno inspiradas con cada inhalación, se reduce al máximo el aporte de oxígeno hacia el músculo esquelético, comprometiendo la capacidad aeróbica (Billaut & Aughey, 2013) y prolongando la recuperación de la actividad intermitente de alta intensidad (Garvican et al., 2013). Específicamente la hipoxemia arterial (definida como una reducción del 3% en la saturación de oxígeno de sangre arterial comparada con los valores pre-ejercicio o en este caso en los valores a nivel del mar) dificulta la capacidad de trabajar a alta intensidad y realizar aceleraciones consecutivas (Billaut & Aughey, 2013). Estos movimientos son fundamentales para los momentos de definir un juego en un partido de fútbol (Gregson et al., 2010; Faude et al., 2012).

Los jugadores elite que nacen en lugares a nivel del mar sufren una reducción de su rendimiento (capacidad de completar y recuperarse de carreras de alta intensidad) cuando juegan fútbol por arriba de 1,200 m (Nassis, 2013). Durante la Copa del Mundo de 2010 (Sudáfrica) de la FIFA, se jugaron los partidos a una variedad de "bajas altitudes" (0 m a 1,400 m y 1,401 m a 1,753 m) (Bartsch et al., 2008). Fue evidente durante el torneo que a una altitud por arriba de 1,200 m se reducía la distancia total recorrida por los jugadores cerca del ~3.1% ( $p < 0.05$ ) comparado a nivel del mar (0 m) (Nassis, 2013). Se reduce de manera importante, la habilidad de correr a alta intensidad, por ejemplo, realizar sprints, aproximadamente 150% a 1,600 m comparado con los controles a nivel del mar, en jugadores jóvenes de fútbol elite (Garvican et al., 2013). Curiosamente, a pesar de las reducciones en la capacidad de correr a altas velocidades entre los jugadores elite entre 1,200 m a 1,750 m, esto no se acompaña de una reducción en el éxito en la ejecución de las habilidades técnicas (Nassis, 2013). En los juegos que se disputaron a una gran altitud, 3,600 m, (Tabla 1) también se redujo la distancia total recorrida por los jugadores jóvenes elite de fútbol durante un partido (Aughey et al., 2013). En este estudio, los jugadores originarios de nivel del mar (Australia) y de gran altitud (Bolivia) jugaron dos partidos amistosos a 430 m y tres juegos amistosos a 3,600 m. La distancia total recorrida por minuto en carrera a alta velocidad por

minuto se redujo en la gran altitud en los jugadores de ambos equipos, cuando se compararon con los juegos disputados a nivel del mar. Más aún, los juegos en gran altitud se llevaron a cabo durante 13 días, por ejemplo, días 1, 6 y 13. De esta forma, se encontró que 13 días de aclimatización a gran altitud no fue suficiente para restablecer el rendimiento observado a nivel del mar (Aughey et al., 2013).

Antes de Mayo del 2007, la FIFA prohibió los partidos de fútbol internacional en alturas por arriba de 2,500 m en tres ocasiones separadas (Gore et al., 2013). El último de estos vetos (Mayo de 2007) se revirtió en breve después de su anuncio (Gore et al., 2013). La serie de anuncios y retracciones fueron hechos a pesar de la investigación específica en fútbol detallando la reducción en el rendimiento físico durante los partidos jugados a baja, moderada y gran altitud (Gore et al., 2013). Se han hecho intentos por aportar datos empíricos de partidos jugados sobre el paradigma del rendimiento del fútbol en altitud, con el Estudio Internacional en Fútbol en Altitud a 3,600m realizado en 2012 (ISA3600, por sus siglas en inglés [Gore et al., 2013]). Sin embargo, a pesar del abordaje novedoso y bien organizado de ISA3600, se encontró poca confiabilidad y gran variabilidad en las mediciones claves de los resultados (por ejemplo, la distancia total recorrida y la distancia al correr a gran velocidad) durante un partido de fútbol con respecto a los factores de juego específicos (táctica y oposición) y condiciones ambientales (Bangsbo, 2014; Bloomfield et al., 2005; Gregson et al., 2010). Por lo tanto, las inferencias de los efectos del ambiente sobre las reducciones en el rendimiento del fútbol derivadas de los partidos, son problemáticas. Por ejemplo, un indicador clave del rendimiento como el realizar sprints, ha reportado tener pobre confiabilidad juego a juego (coeficiente de variación de ~36%) (Gregson et al., 2010) produciendo interferencias entre los factores ambientales que afectan el rendimiento (calor, frío, hipoxia, etc.) y las intervenciones o recomendaciones prácticas para reducir tales efectos.

Para entender mejor los efectos de las diferentes condiciones ambientales sobre el rendimiento de los futbolistas se necesitan condiciones más controladas. Las simulaciones del juego de fútbol en laboratorio o en el campo, que replican las demandas de los partidos en los jugadores, sin los factores de juego que producen confusión (táctica, oposición, condiciones ambientales), pueden aportar dichos conocimientos. Las distancias fijas, la velocidad constante y los protocolos basados en banda sin fin motorizada tienen una validez ecológica limitada para el fútbol y por lo tanto se han desarrollado protocolos de distancia variable para incrementar la validez de las mediciones. La prueba de rendimiento del fútbol intermitente (iSPT, por sus siglas en inglés) es un protocolo individualizado el cual se ha utilizado para investigar el impacto de la hipoxia (1,000 m; 18.4% de oxígeno) en el rendimiento de la carrera del jugador (Taylor et al., 2014a; Aldous et al., 2013). Los resultados piloto han demostrado que la distancia total recorrida (Figura 1b) y la distancia cubierta a máxima velocidad (Figura 2b) fueron significativamente mayores en los controles comparados con las condiciones hipóxicas. Más aún, la mayor reducción en la carrera a máxima velocidad se observó en los últimos 15 minutos de la iSPT comparada con los otros bloques de 15 minutos del protocolo. Es razonable sugerir que dichas diferencias dependientes del tiempo en la carrera a máxima velocidad en altitud puede ser crucial en los resultados del juego. Por ejemplo, en las Copas del Mundo de la FIFA de 1998 y 2002 la mayoría de los goles se marcaron en el segundo tiempo ( $p < 0.05$ ) (Armatas et al., 2007). Más aún, se marcaron/concedieron más goles dentro de los últimos 15 minutos finales del partido (76-90 min) comparados con

los otros bloques de 15 minutos. Este fenómeno de goles anotados es debido probablemente a la incapacidad de mantener la habilidad de sprints repetidos o episodios discretos de capacidad de realizar sprints máximos sin fatiga, dentro de los últimos 15 minutos del partido (Rollo, 2014; Aldous et al., 2013). Estas reducciones en el rendimiento parecen ser exacerbadas en los ambientes hipóxicos (Garvican et al., 2013; Taylor et al., 2014a).

FIGURA 1

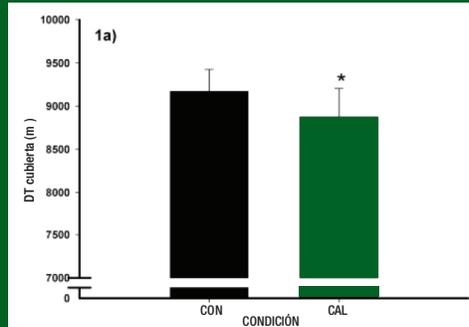


Figura 1a: La distancia total (DT) cubierta se redujo significativamente ( $P < 0.05$ , ↓ 3.23%) en condiciones calurosas (CAL) ( $8876.2 \pm 328.95$ m) comparado con el control templado (CON) ( $9172.67 \pm 253.91$ m).

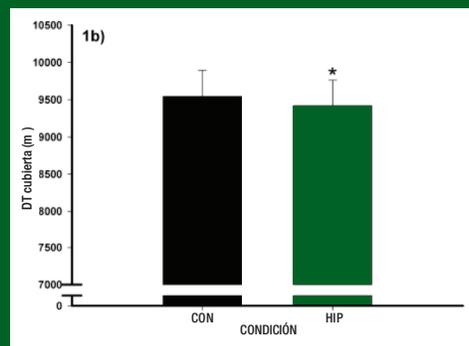


Figura 1b: La DT cubierta se redujo significativamente ( $P < 0.05$ , ↓ 1.27%) en HIP ( $9420 \pm 543$ m) comparado con CON ( $9542 \pm 353$ m).

FIGURA 2

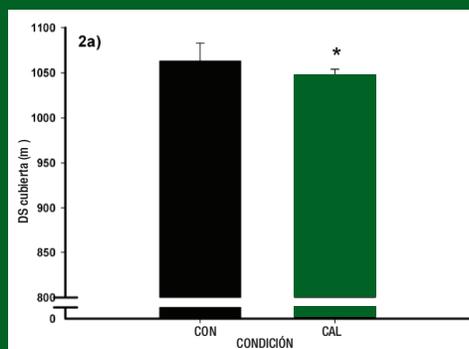


Figura 2a: La distancia cubierta en sprint (DS) se redujo significativamente ( $P < 0.05$ , ↓ 1.51%) en la condición de calor (CAL) ( $1041 \pm 11$ m) comparado con el control templado (CON) ( $1063 \pm 19.94$ m).

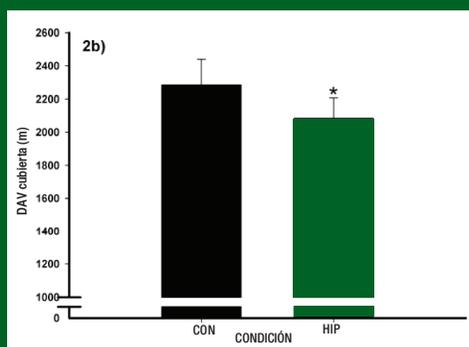


Figura 2b: La distancia cubierta a alta velocidad (DAV) disminuyó significativamente ( $P < 0.05$ ; ↓ 12.65%) en HIP ( $2084 \pm 124$ m) comparado con el control (CON) ( $2386 \pm 15.4$ m).

## HIPOXIA: RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Las recomendaciones específicas para prepararse a realizar ejercicio en altitud dependen del grado del ascenso. En su consenso Bartsch et al., (2008) recomendaron un periodo de aclimatación de 3 a 5 días cuando los jugadores ascienden del nivel del mar a baja altitud (1,500 m). Sin embargo, se recomienda un periodo de aclimatación de una a dos semanas cuando se juega en altitudes moderadas. Finalmente, se recomienda un mínimo de dos semanas de aclimatación a la localidad del partido cuando se juega en gran altitud (Tabla 1). Las investigaciones sugieren que un jugador de fútbol aclimatizado a la altitud (o nativo de gran altitud) tendrá mayor capacidad de resistencia aeróbica (más distancia cubierta al correr a altas velocidades si el juego así lo requiere), ritmo más efectivo, mejor recuperación entre múltiples juegos y un control de balón potencialmente mejorado con una menor densidad del aire (Aughey et al., 2013).

ALTITUD	CLASIFICACIÓN	IMPLICACIÓN
0 – 500 m	Cercano al nivel del mar	
>500 – 2,000 m	Baja altitud	Menor alteración en el rendimiento aeróbico. 3-5 días de aclimatación.
>2,000 – 3,000 m	Altitud moderada	Empieza a aparecer mal de montaña y la aclimatación se convierte altamente importante. 1-2 semanas de aclimatación.
>3000 – 5,500 m	Gran altitud	Alteración considerable del rendimiento, la aclimatación se convierte clínicamente relevante.
>5,500 m	Altitud extrema	La exposición prolongada resulta en un deterioro progresivo.

Tabla 1. Definición de altitud: El impacto de la altitud en el rendimiento y la salud es altamente individualizado. Por lo tanto, se deberá hacer notar que las definiciones arriba mencionadas de las zonas de altitud pueden variar significativamente entre jugadores y por algunos cientos de metros.

Es importante destacar que la mayoría de los artículos que componen el consenso de Bartsch et al. (2008) sobre la altitud y el rendimiento estaban relacionados a atletas individuales en deportes específicos, que no son aplicables inmediatamente a los deportes de equipo como el fútbol. Por lo tanto, las guías no son exclusivamente basadas en la investigación sistemática y la investigación en los jugadores de fútbol. Más aún, la alta variabilidad individual en el proceso de adaptación a las diferentes altitudes adiciona mayores retos cuando se generalizan las recomendaciones a un equipo completo de fútbol (Bartsch et al., 2008). De hecho, el consenso más reciente sobre “entrenamiento de altitud para deportes de equipo” no tiene sólo una recomendación que sea ajustable para todos los jugadores en el equipo. En teoría, cuando se preparan para un periodo de aclimatación en la altitud o intentando ganar una ventaja ergogénica al entrenar en altitud, no todos los jugadores del equipo deberán exponerse a las mismas condiciones hipóxicas. En su lugar, se deberá establecer una dosis/tiempo/tipo de exposición para cada jugador (Girard et al., 2013).

Las intervenciones específicas de nutrición pueden ser importantes en los ambientes hipóxicos. El nitrato de los alimentos ha mostrado que mejora la oxigenación muscular durante el ejercicio submáximo y máximo en la hipoxia aguda severa (Masschelein et al., 2012), reduce la alteración metabólica negativa muscular durante el ejercicio de alta intensidad con hipoxia (Vanhatalo et al., 2011) y mejora el rendimiento del ejercicio intermitente intenso a nivel del mar (Wylie et al., 2013). Es difícil dar recomendaciones prácticas para optimizar la suplementación de nitratos a los futbolistas en condiciones de hipoxia. Esto debido a la gran variabilidad en las estrategias de suplementación utilizadas en diversos estudios (dosis, fuente de nitrato, tiempo de suplementación) en los que se han demostrado efectos valiosos en el ejercicio. Así como la falta de estudios basados en nitrato y ejercicio con hipoxia (Vanhatalo et al., 2011; Masschelein et al., 2012; Hoon et al., 2013). Sin embargo, una dosis aguda de nitrato inorgánico (300 a 600 mg), consumida 75-150 minutos antes del ejercicio a través de productos vegetales ricos en nitrato como el jugo de betabel o remolacha, parece que mejora el rendimiento del ejercicio y/o la eficiencia (aunque haya habido suplementación crónica o no). La suplementación crónica o durante al menos algunos días incrementa la probabilidad de que se presenten los beneficios observados en el rendimiento (Hoon et al., 2013; Jones, 2013).

Recientemente se han publicado más recomendaciones prácticas para mejorar el rendimiento en altitud (Armstrong, 2006; Gore et al., 2008), que incluyen el incremento en la ingesta de hierro a través de la suplementación vía oral de 100-300 mg/día de hierro inorgánico en conjunto con aproximadamente 1.000 mg/día de Vitamina C, durante varias semanas previas a la estadía en altitud. Se recomienda que este régimen de dosificación se inicie y vigile por un médico, quien deberá guiarse por los niveles de Ferritina sérica (Armstrong, 2006; Gore et al., 2008). Se debe tener cuidado con la dosificación de hierro descrita arriba, debido a que puede causar estreñimiento y malestar gastrointestinal leve (Gore et al., 2008). Adicionalmente, los carbohidratos adecuados en la alimentación y el consumo de dichos carbohidratos durante un partido parecen ser una estrategia prudente en altitud (Gore et al., 2008).

Finalmente, la función cognitiva es de gran importancia durante un partido, ya que tendrá influencia sobre la toma de decisiones de los jugadores, anticipación a un pase, sincronización para una carrera y seguimiento del balón o defender. Las investigaciones preliminares sugieren que la suplementación con tirosina puede ofrecer algún beneficio a la función cognitiva en ambientes hipóxicos (Banderet & Lieberman, 1989). Las dosis agudas de Tirosina de 150 mg/kg de peso corporal han reportado ser bien toleradas al consumirse de 5 h a 1 h previas a completar la iSPT, con efectos positivos (Taylor et al., 2014b), aunque se requiere mayor investigación antes de que se recomiende la tirosina con confianza en el paradigma del juego de futbol en altitud (O'Brien et al., 2007; Baker, 2013).

## CALOR Y FUTBOL

Es más común que el futbol competitivo se juegue en medios calurosos que en otros ambientes perjudiciales como la hipoxia. De hecho, es probable que dos de las tres siguientes Copas del Mundo de la FIFA (Brasil 2014 y Qatar 2022) se jueguen a temperaturas extremas (30-

45°C) que impondrán un gran reto a los mejores jugadores del mundo para satisfacer las demandas físicas asociadas con el rendimiento de un partido elite. Por ejemplo, la distancia total cubierta durante un partido se ve afectada cuando la temperatura ambiental se incrementa de 20°C a 30°C (Ekblom, 1986), con incrementos relativos de las temperaturas ambientales (por ejemplo de ~21°C a ~43°C) se reduce la distancia total cubierta en un 7% (Mohr et al., 2012).

La capacidad de realizar ejercicio se reduce en ambientes calurosos, incrementándose la temperatura corporal central por las condiciones ambientales y la producción de calor metabólico (músculo esquelético activo), afectando la ecuación de ganancia de calor (ejercicio y medio ambiente) y las pérdidas (evaporación, convección y radiación) favoreciendo la ganancia de calor (Nybo et al., 2014). El mecanismo preciso por medio del cual el estrés por calor por ejercicio reduce el rendimiento del ejercicio no está claro, con interrelaciones complejas entre los factores periféricos (retroalimentación) y centrales (alimentación positiva) conocidos que ocurren dependiendo de la modalidad, intensidad y duración del ejercicio (Nybo et al., 2014). Por ejemplo, en estudios recientes se sugirió que hay una temperatura corporal central que coincide con la fatiga (~38.6°C). Este concepto se ha abandonado ahora aunque está claro que la temperatura central puede tener un papel crucial en el desarrollo de la fatiga, pero también la temperatura muscular, de la piel y otros factores diversos juegan papeles importantes. Curiosamente, los individuos bien entrenados parecen tolerar mayores temperaturas centrales (39.2°C y 40.3°C) que los individuos menos entrenados, y esto coincide con un mayor tiempo previo a la fatiga durante ejercicio continuo (Cheung, 2010). Se han reportado mayores temperaturas del músculo en el cuádriceps y temperaturas centrales elevadas cuando se juega futbol en el calor, comparada con ambientes templados (Mohr et al., 2012). Está claro que la fatiga en el futbol es multifactorial y se deben considerar diversos mecanismos complementarios, aparte de la temperatura muscular, central y de la piel (Sawka et al., 2011; Sawka et al., 2012) al tratar de explicar la fatiga relacionada al futbol en ambientes calurosos (Mohr et al., 2012).

En un ambiente caluroso, se limita la máxima intensidad del ejercicio por limitaciones cardiovasculares en la liberación de oxígeno facilitada sinérgicamente al músculo esquelético a pesar de que se mantiene una adecuada termorregulación (Nybo et al., 2014). Sin embargo, la intensidad submáxima fijada se limita por fatiga central (capacidad limitada de mantener la activación muscular máxima durante contracciones sostenidas), siendo esta fatiga central mediada por actividad de neurotransmisores dopaminérgicos, temperaturas corporales elevadas (piel, central y muscular) y alteraciones metabólicas en el músculo esquelético (Nybo et al., 2014). Cuando se juega el futbol en temperaturas calurosas, se reduce marcadamente la distancia total de los jugadores y la actividad de alta intensidad, aunque no siempre se observen elevaciones de la frecuencia cardiaca promedio y el lactato sanguíneo, cuando se compara con el rendimiento en ambientes templados (Mohr et al., 2012).

Considerando las demandas fisiológicas del rendimiento del futbol (Bangsbo, 2014) es razonable asumir que la combinación de los factores asociados con la fatiga por ejercicio máximo y submáximo

se interrelacionan para reducir las distancias cubiertas e incrementar las alteraciones cardiovasculares/metabólicas. Estos efectos pueden ser evidentes durante todo el juego, transitoriamente en el juego y en ambientes calurosos comparados con los templados (Moht et al., 2003; Mohr et al., 2004; Mohr et al., 2005; Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr & Krstrup, 2013).

La magnitud de la “respuesta/fatiga” al estrés por calor durante el ejercicio tiene grandes variaciones interindividuales (Nybo et al., 2014), debido al estado de entrenamiento y aclimatación de los jugadores, las cuales están influenciadas por variaciones genéticas/fenotípicas de rasgos favorables asociados con la tolerancia térmica innata y su adquisición (Horowitz, 2014; Taylor, 2014b). Los lectores pueden dirigirse a revisiones recientes en fatiga inducida por hipertermia en el ejercicio (Nybo et al., 2014) y adaptación humana al calor (Horowitz, 2014; Taylor, 2014).

Aunque las reducciones en la distancia total afectarán las características del partido, no siempre influirán en los resultados de los juegos como se discutió previamente. En particular, para reiterar, la carrera a máxima velocidad es más fundamental para el resultado del partido que la distancia total recorrida (Gregson et al., 2010; Bradley et al., 2011; Faude et al., 2012; Bradley & Noakes, 2013). En condiciones muy calurosas (~43°C) los jugadores varones profesionales de fútbol han presentado una reducción del 26% en la distancia cubierta a alta velocidad comparado con un juego en condiciones ambientales templadas (~21°C) (Mohr et al., 2012). Por lo tanto, parece que el calor en los partidos tiene mayor impacto en estas variables del rendimiento específicamente relacionadas con el resultado del juego.

Las reducciones en las distancias cubiertas a alta intensidad y las distancias totales en el juego ocasionadas por el calor, impactan directamente las características de los partidos, por ejemplo: posesión, pérdidas de balón, ejecución de habilidades técnicas, etc., en comparación con partidos en ambientes templados (Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2012; Mohr and Krstrup, 2013); aunque estos cambios no pueden predecir el resultado de los juegos. Al contrario de la hipoxia, las habilidades técnicas, por ejemplo, pase (8%) y cruces (9%), mejoran en el calor comparado con partidos en ambientes templados (Mohr et al., 2012). Este incremento en las habilidades técnicas parecen ser un efecto de los cambios inherentes en las características del juego. Por ejemplo, el calor comparado con condiciones templadas se asocia con una reducción en los duelos de jugadores y cambios de posición del balón, con un incremento concomitante en el tiempo de posesión del balón (Mohr et al., 2012). Por lo tanto, previo a los retos técnicos de habilidades por el calor comparado con las condiciones templadas, la presión al jugador en la posesión del balón es menor, por ejemplo, la marca y presión son menos agresivas y la proximidad se incrementa, permitiendo mayor foco de atención para realizar las habilidades técnicas. Esta es la explicación más cercana para el incremento en la ejecución exitosa de las habilidades.

Como se discutió en la sección de hipoxia, existen algunas ventajas de estudiar los parámetros relacionados al rendimiento en condiciones más controladas (Gregson et al., 2010). La variación en estos parámetros puede ser incluso más grande en los partidos en el calor (~43°C) porque

puede haber una alteración en la “estrategia del ritmo” y distribución de la intensidad absoluta del ejercicio durante el juego (Mohr et al., 2012). Morris et al. (2005) reportaron previamente que las carreras por segmentos prolongados, intermitentes, de alta intensidad en el calor (33°C, 28% humedad relativa) produjeron una aparición temprana de la fatiga en comparación con el ejercicio en un ambiente moderado (17°C, 63% humedad relativa). Curiosamente, mientras se eleva la utilización del glucógeno muscular por el estrés por calor, no se reportó una baja concentración total de glucógeno muscular como la causa de la aparición temprana de la fatiga. En su lugar, la aparición de la fatiga se asoció con hipertermia. Un estudio reciente utilizando el ISPT a 18°C y 30°C reveló que la distancia total recorrida y las distancias de sprint se redujeron significativamente cuando se realizó el ejercicio en ambientes calurosos (Aldous et al., 2014). Específicamente, la reducción en la distancia de sprint en condiciones calurosas fue acompañado de mayor frecuencia cardiaca, mayores concentraciones de lactato sanguíneo y una elevada temperatura central (~0.4°C) (Aldous et al., 2014).

Aunque no está claro el mecanismo preciso para la reducción de la actividad del sprint por el estrés del calor en el fútbol, este parece producirse por la interacción de los factores periféricos y centrales previamente discutidos (incluyendo el incremento en la temperatura central, muscular y de la piel observados) los cuales regulan la fatiga inducida por la hipertermia durante el ejercicio intermitente en los 90 minutos (Mohr et al., 2012; Nybo et al., 2014).

### CALOR: RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

El rendimiento en el fútbol en ambientes calurosos de ~30°C (Ekblom, 1986) a 41°C (Mohr et al., 2012) y datos de laboratorio a 30°C (Aldous et al., 2014) reducen la carrera a alta intensidad y la distancia total recorrida, que pueden influir en el resultado del juego (Faude et al., 2012) y las características del partido (Mohr et al., 2012) respectivamente. Las alteraciones coincidentes en las temperaturas del cuerpo contribuyen (pero no exclusivamente) a un modelo multifactorial de fatiga inducida por hipertermia específica en el fútbol (Nybo et al., 2014).

Contrario a la hipoxia, hay muchas intervenciones comúnmente empleadas, prácticamente válidas y ergogénicas que considerar, en un intento de compensar algunas de las reducciones en el rendimiento del fútbol inducidas por el ejercicio. La estrategia más prevalente es un protocolo de aclimatación al calor (Taylor, 2014). Los protocolos de aclimatización al calor tradicionalmente toman entre 4 – 14 días para obtener un fenotipo parcialmente (4 días) o totalmente aclimatado al calor (más de 14 días) (Gibson et al., 2014; Taylor, 2014), a pesar de que es difícil desde un punto de vista práctico el implementar dichos periodos de aclimatización con un calendario mixto típico del fútbol nacional e internacional. Se puede lograr una aclimatación naturalmente inducida al calor en seis días de regímenes normales de entrenamiento en ambiente caluroso. En un estudio, los futbolistas semiprofesionales tuvieron efectos positivos específicos individuales en la capacidad de mantener el rendimiento de la carrera de un partido en el calor comparado con el ambiente templado (Racinais et al., 2012). Sin embargo, las variaciones interindividuales en esta respuesta correlacionada con las adaptaciones hematológicas (expansión del volumen plasmático) fueron notables. Por ejemplo, aquellos jugadores que exhibieron mayor expansión del volumen plasmático, se adaptaron

mejor a la intervención de aclimatación al calor y fueron más capaces de mantener un perfil de carrera de partido “parecido al clima templado” estando en el calor, comparado con el medio ambiente templado (Racinais et al., 2012). Los médicos deben explorar el uso de aclimatación artificial al calor (con algún hábito fijado en un periodo de tiempo), hipertermia controlada específicamente que induzca a la aclimatación al calor (también conocida como aclimatación isotérmica al calor). Los protocolos de aclimatación al calor con hipertermia controlada previenen la reducción del estímulo adaptativo (ejercicio o estrés por calor), debido a la aclimatación al calor a través del tiempo en relación al valor previo de pre aclimatación (usualmente la temperatura corporal), a la vez que también reducen el trabajo total requerido. (Gibson et al., 2014; Taylor, 2014). Por lo tanto, la eficacia de la aclimatación al calor varía y la utilidad para todo un equipo de futbol involucrado en los calendarios de juegos es un reto. Las recomendaciones específicas son probablemente influenciadas por factores externos como los horarios de juegos y es un reto proponer guías genéricas. Primero, se debe decidir si se ocupa la aclimatación “natural” (Racinais et al., 2012), o la aclimatación artificial (Taylor, 2014; Sunderland et al., 2008). Esto deberá ser discutido entre los entrenadores técnicos/tácticos y los científicos del deporte para encontrar la mejor opción para alcanzar la respuesta fisiológica en contexto de las prioridades del entrenamiento. Segundo, se deberá tomar en cuenta el número de sesiones para la aclimatación (días típicamente) requeridas si es que se implementará el protocolo. En general, una mayor frecuencia de sesiones de aclimatación al calor lograrán una adaptación más completa (Taylor, 2014). Tercero, la temperatura a la cual se expondrá a los jugadores deberá ser al menos equivalente a la temperatura de la competencia que tendrán, aunque mayores temperaturas aportarán un estímulo adaptativo mayor (Taylor, 2014). Finalmente, el uso de un modelo progresivo de hipertermia para aclimatación al calor con un estímulo de ejercicio ecológicamente válido como la estimulación del futbol podrá incrementar la eficacia y la validez ecológica respectivamente (Sunderland et al., 2008).

Otra estrategia es el “enfriamiento” antes o durante el juego (comúnmente llamado pre-enfriamiento), el cual ha mostrado tener efectos ergogénicos durante el estrés del ejercicio en el calor, a pesar de que hay una variación sustancial en su efectividad y practicidad para estos fines (Tyler et al., 2013). Los métodos de enfriamiento más comúnmente empleados incluyen la inmersión en agua fría, consumo de líquidos fríos/hielo derretido, aplicación de paquetes de hielo en la piel, utilizar ropa enfriada o una combinación (métodos mezclados) de los mencionados (Tyler et al., 2013). Independientemente del método, el objetivo del pre-enfriamiento es reducir la temperatura central, de la piel y muscular, incrementando la capacidad de acumular calor, con incremento en la capacidad ergogénica de trabajo y del tiempo de ejercicio antes de la fatiga (Bongers et al., 2014). La eficacia de los métodos mencionados es variable, y los chalecos de enfriamiento no tienen efecto o es muy pequeño sobre el rendimiento, mientras que la inmersión en agua fría tiene efectos positivos moderados pero carece de practicidad. Los métodos combinados y el consumo de líquidos fríos y/o hielo derretido han mostrado ser prácticos y ergogénicos para la capacidad de ejercitarse en el calor (Bongers et al., 2014). Los artículos específicos sobre pre-enfriamiento en futbolistas se limitan a dos estudios (Drust et al., 2000; Clarke et al., 2011). La actividad

de sprint repetido en ambientes calurosos mejoró con el enfriamiento aplicando paquetes de hielo en el cuádriceps (Castle et al., 2006) y con los métodos combinados involucrando múltiples sitios de aplicación de paquetes de hielo/chalecos; (Minett et al., 2011; Minett et al., 2012a). Para que el pre-enfriamiento pueda impactar de forma positiva el ejercicio en el calor las respuestas fisiológicas específicas y perceptuales, deberán tener una duración (Minett et al., 2012a) y volumen (Minett et al., 2011) adecuados.

La adopción de un método de pre-enfriamiento específico al futbol (Minet et al., 2011; Minet et al., 2012a; Minet et al., 2012b) que maximice los efectos ergogénicos, antes de o durante (medio tiempo) pueden ser beneficiosos. Sin embargo, la principal preocupación para la implementación del pre-enfriamiento (de cualquier tipo) en el futbol profesional, es el tiempo disponible limitado durante los procedimientos de calentamiento (~30 min), posterior al calentamiento y previo a la patada inicial (~12 min) y el tiempo disponible realmente durante el medio tiempo (~2.6 min) (Towilson et al., 2013). Se debe desarrollar más investigación sobre pre-enfriamiento específico para el futbol y una solución efectiva y práctica (Minett et al., 2011; Minett et al., 2012a; Tyler et al., 2013), específicamente en relación al tiempo disponible limitado para implementar dichas intervenciones (Towilson et al., 2013). Las recomendaciones prácticas deberán incluir el uso de métodos de pre-enfriamiento mixtos enfocados en maximizar el volumen del área a enfriar sin afectar la practicidad. Actualmente no existe alguna entidad que indique restricciones al uso del enfriamiento previo a un partido o en el medio tiempo.

La hidratación habitual y el mantener este estatus antes y durante el juego será ventajoso al prepararse para el ejercicio en el calor (Laitano et al., 2014; Sawka et al., 2007). La deshidratación de más del 2% del peso corporal previo al ejercicio se ha reportado que reduce la potencia aeróbica máxima en ambientes calurosos (Craig & Cummings, 1966) y afecta el rendimiento aeróbico submáximo en ambientes templados, tibios y calientes (Sawka et al., 2012). La deshidratación durante el ejercicio en el calor incrementa la hipertermia en piel, centro y músculos comparada con los estados de buena hidratación (Sawka et al., 2012). Aunque estas temperaturas no son solamente responsables para la fatiga por estrés por calor por ejercicio (Nybo et al., 2014) es prudente el prevenir dichos incrementos en la temperatura corporal y el estrés cardiovascular exasperado durante los partidos de futbol (Sawka et al., 1992; Sawka et al., 2011; Sawka et al., 2012; Nybo et al., 2014). Se debe destacar que existe una gran variación individual en la respuesta a la deshidratación y su influencia en el rendimiento del ejercicio. Por lo tanto, las recomendaciones de hidratación deben individualizarse para cada jugador – los lectores deberán revisar a Laitano et al. (2014) para más guías en relación a este tema.

## RESUMEN

Los ambientes extremos como la hipoxia y/o el calor son comúnmente encontrados durante los partidos respaldados por la FIFA. En relación a los partidos, las condiciones ambientales de hipoxia y calor se asocian a reducciones en la carrera a máxima velocidad y específicamente en las distancias de los sprints, ambas influyen directamente en el resultado del partido. Los efectos negativos de la hipoxia pueden contrarrestarse en parte por un periodo de aclimatación a la altitud

que es dependiente de la altitud en la cual se jugará el partido. La preparación nutricional deberá incluir nitratos en la alimentación así como hierro. Estrategias más específicas podrán mitigar algunas de las reducciones en el rendimiento del futbol mediadas por el calor, estas recomendaciones incluyen aclimatación específica al calor y métodos mixtos de enfriamiento (antes del partido o en el medio tiempo), así como una hidratación de rutina. Se requiere más investigación para modificar y optimizar estas intervenciones para cumplir las demandas específicas de los partidos de futbol.

## REFERENCIAS

- Aldous, J. W., Akubat, I., Christmas, B. C., Watkins, S. L., Mauger, A. R., Midgley, A. W., Abt, G. and L. Taylor (2013). The reliability and validity of a soccer-specific non-motorised treadmill simulation (ispt). *J Strength Cond Res*. E-Pub, ahead of print.
- Aldous, J. W., Christmas, B. C., Beel, L., Akubat, I., Dascombe, B. and L. Taylor, L. (2014). Hot environment mediated decrements in soccer-specific capacity utilising a non-motorised treadmill soccer-specific simulation (ispt). In: 4th World Conference on Science and Soccer (WCSS), Portland, USA.
- Armatas, V., Yiannakos, A. and P. Sileoglou (2007). Relationship between time and goal scoring in soccer games: Analysis of three world cups. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 7, 48-58.
- Armstrong, L. E. (2006). Nutritional strategies for football: Counteracting heat, cold, high altitude, and jet lag. *Journal of Sports Sciences*, 24, 723-740.
- Aughey, R. J., Hammond, K., Varley, M. C., Schmidt, W. F., Bourdon, P. C., Buchheit, M., Simpson, B., Garvican-Lewis, L. A., Kley, M., Soria, R., Sargent, C., Roach, G. D., Claros, J. C. J., Wachsmuth, N. and C.J. Gore (2013). Soccer activity profile of altitude versus sea-level natives during acclimatisation to 3600 m (isa3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47, i107-i113.
- Baker, L. (2013). Effects of dietary constituents on cognitive and motor skill performance in sports. *Sports Science Exchange*. Vol. 26, No. 119, 1-6.
- Banderet, L. E. and H.R. Lieberman (1989). Treatment with tyrosine, a neurotransmitter precursor, reduces environmental stress in humans. *Brain Res Bull*, 22, 759-62.
- Bangsbo, J. Physiological Demands of Football. (2014) *Sports Science Exchange*. (2014) Vol. 27, No. 125, 1-6.
- Bartsch, P., Saltin, B. and J. Dvorak (2008). Consensus statement on playing football at different altitude; *Scand J Med Sci Sports*: 18 (Suppl.1): 96-99
- Billaut, F. and R.J. Aughey (2013). Update in the understanding of altitude-induced limitations to performance in team-sport athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 47, i22-i25.
- Bloomfield, J., Polman, R. and P. O'donoghue (2005). Effects of score-line on intensity of play in midfield and forward players in the fa premier league. *Journal of Sports Sciences*, 23, 191-192.
- Bongers, C. C. W. G., Thijssen, D. H. J., Veltmeijer, M. T. W., Hopman, M. T. E. & Eijsvogels, T. M. H. (2014). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Diaz, A. G., Peart, D. & Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in english fa premier league soccer matches. *J Sports Sci*, 29, 821-30.
- Bradley, P. S. & Noakes, T. D. (2013). Match running performance fluctuations in elite soccer: Indicative of fatigue, pacing or situational influences? *Journal of Sports Sciences*, 1-12.
- Castle, P. C., Macdonald, A. L., Philp, A., Webborn, A., Watt, P. W. & Maxwell, N. S. (2006). Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1377-1384.
- Cheung, S. S. 2010. Advanced environmental exercise physiology, *Human Kinetics*.
- Clarke, N. D., Maclaren, D. P., Reilly, T. & Drust, B. (2011). Carbohydrate ingestion and pre-cooling improves exercise capacity following soccer-specific intermittent exercise performed in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 20, pp. 1447 - 1455.
- Craig, E. N. & Cummings, E. G. (1966). Dehydration and muscular work. *Journal of Applied Physiology*, 21, 670-4.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon-Montero, F. J., Bachl, N. & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 222-227.
- Di Salvo, V., Collins, A., Mcneil, B. & Cardianle, M. (2006). Validation of prozone: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6, 108-119.
- Drust, B., Cable, N. T. & Reilly, T. (2000). Investigation of the effects of the pre-cooling on the physiological responses to soccer-specific intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 81, 11-17.
- Eklom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Med*, 3, 50-60.
- Faude, O., Koch, T. & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci*, 30, 625-31.
- Garvican, L. A., Hammond, K., Varley, M. C., Gore, C. J., Billaut, F. & Aughey, R. J. (2013). Lower running performance and exacerbated fatigue in soccer played at 1600 m. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Gibson, O. R., Dennis, A., Parfitt, T., Taylor, L., Watt, P. W. & Maxwell, N. S. (2014). Extracellular hsp72 concentration relates to a minimum endogenous criteria during acute exercise-heat exposure. *Cell Stress Chaperones*, 19, 389-400.
- Girard, O., Amann, M., Aughey, R., Billaut, F., Bishop, D.J., Bourdon, P., Buchheit, M., Chapman, R., D'Hooghe, M., Garvican-Lewis, L.A., Gore, C.J., Millet, G.P., Roach, G.D., Sargent, C., Saunders, P.U., Schmidt, W. and Y.O. Schumacher (2013). Position statement--altitude training for improving team-sport players' performance: current knowledge and unresolved issues. *Br J Sports Med*. 47 Suppl 1:i8-16.
- Gore, C. J., Aughey, R. J., Bourdon, P. C., Garvican-Lewis, L. A., Soria, R., Claros, J. C. J., Sargent, C., Roach, G. D., Buchheit, M., Simpson, B. M., Hammond, K., Kley, M., Wachsmuth, N., Pepper, M., Edwards, A., Cuenca, D., Vidmar, T., Spielvogel, H. & Schmidt, W. F. (2013). Methods of the international study on soccer at altitude 3600 m (isa3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47, i80-i85.
- Gore, C. J., Mcsharry, P. E., Hewitt, A. J. & Saunders, P. U. (2008). Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18, 85-95.
- Grantham, J., Cheung, S. S., Connes, P., Febbraio, M. A., Gaoua, N., González-Alonso, J., Hue, O., Johnson, J. M., Maughan, R. J., Meeusen, R., Nybo, L., Racinais, S., Shirreffs, S. M. & Dvorak, J. (2010). Current knowledge on playing football in hot environments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 161-167.
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G. & Di Salvo, V. (2010). Match-to-match variability of high speed activities in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 237-242.
- Hoon, M. W., Johnson, N. A., Chapman, P. G. & Burke, L. M. (2013). The effect of nitrate supplementation on exercise performance in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 23, 522-532.
- Horowitz, M. (2014). Heat acclimation, epigenetics, and cytoprotection memory. *Comprehensive Physiology*, 4, 199-230.
- Jones, A. (2013). Dietary nitrate: the new magic bullet? *Sports Science Exchange*. Vol. 26, No. 110, 1-5.
- Laitano, O. Runco, J.L and Baker, L. (2014) Hydration Science and Strategies in Football. *Sports Science Exchange*. Vol. 27, No. 128, 1-7
- Masschelein, E., Van Thienen, R., Wang, X., Van Schepdael, A., Thomis, M. & Hespel, P. (2012). Dietary nitrate improves muscle but not cerebral oxygenation status during exercise in hypoxia. *J Appl Physiol* (1985), 113, 736-45.
- McSharry, P. E. (2007). Altitude and athletic performance: Statistical analysis using football results. *British Medical Journal*, 335, 1278-1281.
- Minett, G., Duffield, R., Marino, F. & Portus, M. (2012a). Duration-dependant response of mixed-method pre-cooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3655-3666.
- Minett, G. M., Duffield, R., Kellett, A. & Portus, M. (2012b). Mixed-method pre-cooling reduces physiological demand without improving performance of medium-fast bowling in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 30, 907-915.
- Minett, G. M., Duffield, R., Marino, F. E. & Portus, M. (2011). Volume-dependent response of precooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 43, 1760-9.
- Mohr, M. & Krstrup, P. (2013). Heat stress impairs repeated jump ability after competitive elite soccer games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 683-689.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21, 519-28.
- Mohr, M., Krstrup, P. & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23, 593-599.

- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J. & Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches – beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14, 156-162.
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., Hewitt, A., Zubillaga, A., Peltola, E. & Krstrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: A multi-experimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 125-132.
- Mohr, M., Nybo, L., Grantham, J. & Racinais, S. (2012). Physiological responses and physical performance during football in the heat. *PLoS One*, 7, e39202.
- Morris, J.G., Nevill, M.E., Boobis, L.H., Macdonald, I.A. and C. Williams. C (2005). Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged, intermittent, high-intensity running in air temperatures of 33 degrees and 17 degrees C. *Int J Sports Med*. Dec;26(10):805-14.
- Nassis, G. P. (2013). Effect of altitude on football performance: Analysis of the 2010 fifa world cup data. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 703-707.
- Nybo, L., Rasmussen, P. & Sawka, M. N. (2014). Performance in the heat—physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. *Comprehensive Physiology*, 4, 657-689.
- O'Brien, C., Mahoney, C., Tharion, W. J., Sils, I. V. & Castellani, J. W. (2007). Dietary tyrosine benefits cognitive and psychomotor performance during body cooling. *Physiol Behav*, 90, 301-7.
- Racinais, S., Mohr, M., Buchheit, M., Voss, S. C., Gaoua, N., Grantham, J. & Nybo, L. (2012). Individual responses to short-term heat acclimatisation as predictors of football performance in a hot, dry environment. *British Journal of Sports Medicine*, 46, 810-815.
- Rollo, I. Carbohydrate: The Football Fuel. (2014) *Sports Science Exchange*. Vol. 27, No. 127, 1-8.
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J. and N.S. Stachenfeld (2007). Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 377-390.
- Sawka, M. N., Chevront, S. N. and R.W. Kenefick (2012). High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Experimental Physiology*, 97, 327-332.
- Sawka, M. N., Leon, L. R., Montain, S. J. and L.A. Sonna (2011). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Comprehensive Physiology*, 1, 1883-1928.
- Sawka, M. N., Young, A. J., Latzka, W. A., Neuffer, P. D., Quigley, M. D. & Pandolf, K. B. (1992). Human tolerance to heat strain during exercise - influence of hydration. *Journal of Applied Physiology*, 73, 368-375.
- Sunderland, C., Morris, J.G., and M.E. Nevill (2008). A heat acclimation protocol for team sports. *Br J Sports Med*. May;42(5):327-33.
- Taylor, L., Chrismas, B. C., Beel, L., Akubat, I., Dascombe, B. and J.W Aldous (2014a). Hypoxia mediated decrements in soccer-specific capacity utilising a non-motorised treadmill soccer-specific simulation (ispt). In: 4th World Conference on Science and Soccer (WCSS), 2014a Portland, USA.
- Taylor, L., Watkins, S. L., Aldous, J. W., Warren, L., Chrismas, B. C., Mauger, A. R., Dascombe, B. And N. Coull (2014b). Effect of tyrosine ingestion on physical and cognitive performance during ispt in a warm environment. In: American College of Sports Medicine (ACSM) Annual Conference, Orlando, FL.
- Taylor, N., A, S (2014). Human heat adaptation. *Comprehensive Physiology*, 4, 325-365.
- Towson, C., Midgley, A. W. & Lovell, R. (2013). Warm-up strategies of professional soccer players: Practitioners' perspectives. *Journal of Sports Sciences*, 31, 1393-1401.
- Tyler, C. J., Sunderland, C. & Cheung, S. S. (2013). The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*.
- Vanhatalo, A., Fulford, J., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Winyard, P. G. & Jones, A. M. (2011). Dietary nitrate reduces muscle metabolic perturbation and improves exercise tolerance in hypoxia. *The Journal of Physiology*, 589, 5517-5528.
- Wylie, L. J., Mohr, M., Krstrup, P., Jackman, S. R., Ermidis, G., Kelly, J., Black, M. I., Bailey, S. J., Vanhatalo, A. & Jones, A. M. (2013). Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 1673-1684.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Taylor L. (2014). Impact of Altitude and Heat on Football Performance. *Sports Science Exchange* 131, Vol. 27, No. 131, 1-9, por el Dr. Samuel Alberto García Castrejón y Pedro R. García, M.Sc.