

UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS**

EFFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN EN ATLETAS DE RESISTENCIA Y ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA SU CONTROL

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

LIC. CIENCIAS NUTRICIONALES

Presenta:

Humberto Jordan Martínez Martínez

EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

Hermsillo, Sonora

Abril, 2016

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como open Access

FORMA DE APROBACIÓN

Los miembros del Jurado Designado para revisar la Tesis Profesional de Humberto Jordan Martínez Martínez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para que obtenga el título de Lic. Ciencias Nutricionales.

Dra. Aracely Angulo Molina
Directora de Tesis y Presidenta del Jurado

Dr. Fernando Bernal Reyes
Asesor y Secretario de Tesis

Dr. Rolando Giovanni Díaz Zavala
Asesor y Vocal

M.C. Lesley Evelyn Antúnez Román
Asesor y Suplente

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por brindarme salud y vida para realizar mis sueños.

A mis padres que siempre han estado conmigo y me han apoyado en todas mis decisiones.

A la Dra. Aracely Angulo Molina por brindarme ese apoyo incondicional de enseñanza y amistad, y por el interés que ha mostrado en mis propósitos profesionales.

A mis maestros que me han dedicado horas extras para explicarme conceptos que se me dificultaban y por moldearme con sabiduría para ser todo un profesionalista.

A mis sinodales por el apoyo, la paciencia y los consejos que me brindaron para la elaboración de mi tesis.

A la Universidad de Sonora por permitirme desarrollar mi perfil profesional y por el respaldo que me ha brindado a lo largo de mi carrera

DEDICATORIA

*A mis padres por ser quienes siempre han estado conmigo en las
buenas y en las malas, me han impulsado para
superarme cada día más y me han hecho
la persona que soy ahora.*

CONTENIDO

	Página
FORMA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIAS.....	4
CONTENIDO.....	5
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	15
I.- EL AGUA.....	16
Importancia del Agua.....	16
El Agua como un Transportador.....	16
El Agua y su Papel en la Termorregulación.....	17
Distribución Corporal del Agua en el Atleta.....	17
¿Qué es la Deshidratación?.....	18
Electrolitos en el Cuerpo del Atleta.....	19
Sodio.....	19
Cloro.....	20
Potasio.....	21
II.- REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL.....	22
Mecanismos de Intercambio de Calor.....	22
Conducción.....	22
Radiación.....	22
Convección.....	23
Evaporación.....	23
Fisiología de la Temperatura y los Factores Fisiológicos Influyentes.....	24
El Papel del Hipotálamo.....	25
Vasodilatación Cutánea.....	26
Glándulas Sudoríparas Ecrinas.....	27
La aclimatación y el Ejercicio.....	28

	Página
III.- EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA DESHIDRATACIÓN EN EL ATLETA.....	30
Efectos de la Deshidratación Sobre las Capacidades del Rendimiento.....	30
Fuerza y Potencia.....	30
Resistencia.....	31
Efectos de la Deshidratación Sobre la Tensión Cardiovascular y la Tensión Térmica en el Atleta de Resistencia.....	33
Tensión Cardiovascular vs Tensión Térmica.....	34
Efecto en los Marcadores Endocrinos del Atleta de Resistencia.....	35
Hiponatremia Asociada al Ejercicio.....	37
Síntomas de la Hiponatremia.....	37
Causas de la Hiponatremia.....	38
Factores de Riesgo.....	38
Tipos de Hiponatremia.....	39
Hiponatremia hipovolémica.....	39
Hiponatremia euvolémica.....	39
Hiponatremia hipervolémica.....	40
Prevención de la Hiponatremia Asociada al Ejercicio.....	40
Tratamiento.....	40
IV.- EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN.....	41
Métodos No Invasivos.....	41
Sed.....	41
Método.....	42
Ventajas.....	42
Desventajas.....	42
Peso Corporal.....	42
Método.....	43
Ventajas.....	43
Desventajas.....	43
Orina.....	43
Osmolalidad de la Orina.....	44
Gravedad Específica.....	44
Color de la Orina.....	45
Métodos.....	45

	Página
Ventajas.....	46
Desventajas.....	46
Bioimpedancia Eléctrica.....	46
Método.....	47
Ventajas.....	48
Desventajas.....	48
Resonancia Magnética.....	48
Volumen muscular.....	49
Glucógeno.....	50
Métodos Invasivos.....	50
Osmolalidad Plasmática.....	50
Método.....	51
Ventajas.....	51
Desventajas.....	52
Otros Indicadores Sanguíneos.....	52
Volumen plasmático.....	52
Sodio plasmático.....	52
Hormonas reguladoras.....	53
Dilución con Isótopo.....	53
Método.....	53
Ventajas.....	54
Desventajas.....	54
Técnicas Aplicadas en Campo.....	54
V.- TIPOS DE BEBIDAS DURANTE EL EJERCICIO.....	56
Bebidas Deportivas.....	56
Bebidas Isotónicas.....	56
Bebidas Hipotónicas.....	57
Bebidas Hipertónicas.....	57
Otro Tipo de Bebidas.....	58
Bebidas Energéticas.....	58
Cafeína.....	59
Metabolismo.....	60
Mecanismos de acción y el efecto ergógeno.....	60

	Página
Sistema nervioso central.....	60
Músculo.....	61
Metabolismo energético.....	61
Sistema cardiovascular.....	61
Sistema respiratorio.....	62
Sistema hormonal.....	62
Dosis recomendada.....	62
Efectos secundarios.....	63
Glicerol.....	64
Metabolismo.....	64
Mecanismo de acción y el efecto ergógeno.....	64
Termorregulación y cardiovascular.....	65
Superhidratación.....	65
Dosis recomendada.....	65
Efectos secundarios.....	66
Bebidas con Creatina.....	66
VI.- ESTRATEGIAS DE HIDRATACIÓN.....	67
Hidratación Antes del Ejercicio.....	67
Suplementación Antes de la Actividad Física.....	69
Glicerol.....	69
Cafeína.....	69
Hidratación Durante el Ejercicio.....	71
Suplementación Durante la Actividad Física.....	72
Proteínas.....	72
Hidratación Después del Ejercicio.....	72
Suplementación Después de la Actividad Física.....	73
Proteínas.....	73
La Hidratación en Diferentes Tipos de Ambientes.....	73
Ambiente Caliente.....	73
Ambiente Frío.....	74
Ambiente Húmedo.....	75
El Rol de los Carbohidratos en la Hidratación.....	76
Absorción.....	77

	Página
Antes del Ejercicio.....	78
Carga de Carbohidratos.....	79
Carbohidratos Durante el Ejercicio.....	79
Recuperación Post-ejercicio.....	81
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1.	Clasificación de la deshidratación en base al nivel de deshidratación	19
2.	Cantidad de sodio en alimentos comunes en base a su porción	20
3.	Cantidad de potasio en alimentos comunes en base a su porción	21
4.	Efectos de la deshidratación sobre el rendimiento en resistencia	32
5.	El estado de hidratación en base al valor de la osmolalidad	44
6.	Practicidad y punto de corte de las técnicas para el estado de hidratación	55
7.	Cantidad recomendada de carbohidrato a ingerir durante diferente duración del ejercicio	81

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Piel	24
2.	Núcleos hipotalámicos	25
3.	Inervación de las glándulas sudoríparas ecrinas	28
4.	Esquema general que incita a la tensión termorreguladora	35
5.	A: Osmómetro Advanced Model 3250; B: Refractómetro análogo de 0-32% Brix; C: Escala de colores de orina de Armstrong y col., 1998	46
6.	Analizador para la composición corporal SECA mBCA 514	48
7.	Sistema de resonancia magnética	49
8.	Diferentes tipos de soluciones o medios	57
9.	Componentes principales de una bebida energética	58
10.	Estructura molecular de la cafeína	59
11.	Estructura molecular del glicerol	64
12.	Estructura molecular de la creatina	66
13.	Corte anatómico del sistema límbico del cerebro	76
14.	Mecanismos de absorción de diferentes azúcares	78
15.	Equipo multidisciplinario	84

RESUMEN

Conocer las características de los fluidos tanto endógenos como exógenos, nos permitirá contemplar con mayor profundidad el efecto que tienen en el organismo y el papel tan importante que desempeña sobre todo en atletas de resistencia. Los efectos de la deshidratación ya están evidenciados pero se hace énfasis en este problema que muchas veces es ignorado y pocas veces es atendido ocasionando una serie de síntomas que a fin de cuentas repercutirán en el desempeño del atleta. Para prevenir o tratar dicho problema existen varios modelos por los cuales el estado de agua corporal puede ser medido, van desde los más simples hasta los más complejos. La temperatura ambiental en la cual se realiza la actividad física también es un factor muy importante a tomar en cuenta al momento de hidratar al cuerpo, como también el tiempo en el que se realiza la hidratación, es decir antes, durante o después de la competencia. Es por eso que existen estrategias de hidratación para cada situación las cuales se explican mediante ejemplos para que puedan ser entendidos y tomados en cuenta en futuros eventos y/o entrenamientos.

INTRODUCCIÓN

Las principales funciones del agua en el cuerpo incluye el transporte de sustancias y aclimatación (regulación de la temperatura corporal para disipar el calor) (Urdampilleta y Gómez, 2014). En los atletas de resistencia como corredores de fondo, maratonistas, ciclistas, entre otros deportes de larga duración aumenta esta demanda, involucrando especialmente a su rendimiento físico (Judelson y col., 2008). Mantener una buena hidratación en el deportista es fundamental, debido a que gran parte de su dimensión corporal es agua y mantener el balance hídrico es la clave de un óptimo rendimiento físico (Burke, 2001). En un cuerpo atlético, del 60 al 65% del peso corporal total es agua (Neufer y col., 1991); la deshidratación se manifiesta con valores <60% y la hiperhidartación con valores >65%. Ambos casos generan problemas para la salud en el atleta, afectando el rendimiento deportivo directamente, sobre todo en atletas de resistencia y son causados por malas prácticas de hidratación, (Noakes, 2012).

Los efectos adversos de la deshidratación a nivel fisiológico en el atleta, se presentan en etapas tempranas, generalmente a partir de una pérdida mayor al 1% del agua corporal, especialmente cuando se realiza el entrenamiento o competencia en ambientes calurosos (Casa DJ y col., 2010). La deshidratación es uno de los problemas más graves en este tipo de ambiente para los atletas, en donde no sólo se ha perdido demasiada agua, sino también electrolitos. Ambos efectos se asocian a calambres, mareos, agotamiento, lesiones, golpes de calor y en casos extremos incluso la muerte (Maughan y Shirreffs, 2010^a). Existen guías y recomendaciones para una hidratación adecuada. Algunas de estas guías sugieren tanto bebidas deportivas comerciales o caseras. La efectividad de la hidratación puede evaluarse a través de marcadores bioquímicos y fisiológicos confiables, con los cuales el atleta puede estimar si mantuvo un nivel de hidratación aceptable o deficiente (Shirreffs, 2009; Armstrong, 2007). A pesar de la existencia de esas guías, tanto especialistas en nutrición y deporte poco

actualizados, así como atletas malinformados no conocen ni utilizan las guías de hidratación, o no se le ha tomado la importancia apropiada. Esto ha ocasionado en el ámbito deportivo que muchos atletas continúen con prácticas inadecuadas de hidratación asociadas a mitos o información no avalada. Por ello, en este trabajo de revisión se pretende dar a conocer los efectos adversos que conlleva la deshidratación en atletas de resistencia, los riesgos a la salud por malos hábitos de hidratación, las implicaciones deportivas durante la etapa de entrenamiento y competitividad, así como las estrategias nutricionales y guías más actuales de hidratación basados en el método científico que repercuten positivamente en el rendimiento deportivo y la salud del atleta.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar una amplia revisión literaria para evidenciar los efectos de la deshidratación en el atleta de resistencia y las estrategias nutricionales para su control.

Objetivos Específicos

- Describir la respuesta fisiológica del agua y la temperatura corporal en el atleta de resistencia.
- Evidenciar los efectos negativos de la deshidratación en el atleta.
- Puntualizar la base científica de las bebidas deportivas y no deportivas utilizadas en esta disciplina.
- Explicar los métodos existentes para evaluar el estado de hidratación en atletas.
- Acentuar la importancia de la pérdida y las estrategias de hidratación en atletas en los diferentes tipos de ambiente, antes durante y después del ejercicio.

I.- EL AGUA

El agua es esencial para los seres vivos, sin la cual no habría existencia en la tierra. Gran parte del cuerpo humano está constituido por agua y ésta se encuentra en órganos, tejidos y es parte de todas las células llevando a cabo funciones importantes en el organismo (Jequier y Constant, 2010). En el atleta de resistencia el papel del agua se incrementa, y por ende, beberla en cantidades mayores a las comunes será trascendental.

Un deporte de resistencia es aquel en el que se efectúa la actividad o ejercicio por más de 30 minutos sin descanso alguno; los deportes más comunes son las carreras de fondo o maratón, ciclismo de larga distancia o rodada, y el triatlón (Jeukendrup, 2011).

Importancia del Agua en el Atleta

El agua cumple funciones importantes en el ser humano, por lo cual, a pesar de que no entra en la categoría de macronutrientes o micronutrientes, se considera un nutriente ya que es un medio donde se dan reacciones bioquímicas, actúa como un solvente, como un reactante o reactivo, actúa como material de construcción o sostén, es un lubricante de articulaciones, absorbe impactos producidos por golpes, es indispensable en el proceso respiratorio, en el proceso digestivo, en el sistema genitourinario y en la circulación sanguínea, además, es el protagonista del proceso de termorregulación (Jequier y Constant, 2010). En el atleta de resistencia existe una mayor demanda en cuando al proceso de la termorregulación y al proceso de la digestión, ya que el primero da lugar a la aclimatación y el segundo al transporte y absorción de nutrientes. Ambas demandas están muy comprometidas con el estado de hidratación del atleta. (Urdampilleta y Gómez, 2014).

El Agua Como un Transportador

A nivel celular, el agua transporta las hormonas, el oxígeno y los nutrientes que la célula necesita hacia su interior, expulsando de la misma forma las sustancias que no necesita o los desechos (Urdampilleta y Gómez, 2014). Es importante mencionar que mediante el transporte se cumple la función de equilibrio entre el fluido extracelular y el fluido intracelular, el cual mantiene la osmolaridad y tonicidad entre estos dos fluidos (Peniche, 2011). La osmolaridad es un elemento muy importante a tomar en cuenta en el ámbito deportivo, ya que es un indicador del estado de hidratación del atleta, tema que se hablará más adelante.

En atletas de resistencia, el transporte de nutrientes es fundamental. De igual forma, mantener un adecuado estado de hidratación permite un mejor rendimiento físico. Esto a su vez asegurará continuar con el entrenamiento y/o competencia en un nivel constante sin perjudicar el estado de salud, ya que durante el deporte de este tipo, donde el ejercicio es continuo sin descanso, el transporte de glucosa endógena y/o exógena hacia las células o reservas de glucógeno, se mantiene elevado y constante, por lo que una cantidad de movilización mayor de este sustrato es indicativo de un mejor rendimiento en deportistas de resistencia e incluso en deportes intermitentes como el fútbol o basquetbol (Beck y col., 2015). Por otra parte, el transporte de electrolitos se ve alterado cuando se está perdiendo mucho sudor. Por lo que la osmosis, que es el transporte de electrolitos por medio de la membrana celular, se ve forzada a equilibrar la osmolaridad del fluido extracelular (Peniche, 2011). De ahí la importancia del consumo de fluidos durante el ejercicio, incluso antes y después del mismo; como se mencionó antes, la buena hidratación es indispensable para el correcto funcionamiento de las reacciones bioquímicas, y en este caso, el transporte de nutrientes (Shirreffs, 2009).

El Agua y su Papel en la Termorregulación

El agua funciona como un regulador de la temperatura corporal, ya que es capaz de mantener una termorregulación constante. Esto ocurre bajo diferentes circunstancias, ya sea en ambientes más calientes o en ambientes más fríos a los de la temperatura corporal (36-37°C) (Maughan y col., 2004).

Uno de los sistemas para mitigar el calor y disminuir la temperatura corporal es la sudoración. Dicho sistema se ve incrementado de manera considerable en deportistas de resistencia. Este es el principal factor influyente en el rendimiento del atleta y su salud durante la competencia o entrenamiento (Wendt y col, 2007; Judelson y col. 2008).

Distribución Corporal del Agua en el Atleta

En el cuerpo humano adulto, aproximadamente del 55 al 60% del peso corporal es agua (Iglesias y col., 2011). Mientras que en el atleta del 60 al 65% del peso corporal es agua, siempre y cuando se encuentren euhidratados, es decir, en un balance hídrico corporal adecuado. El contenido de agua varía entre cada atleta según el peso corporal total, el sexo, la edad y el contenido de grasa y masa libre de grasa. Por ejemplo, una mujer tiene menos porcentaje de agua corporal total, al igual que una persona con mayor contenido de grasa, lo

que los hace más propensos a presentar deshidratación (Buffa y col, 2011). En cambio, un hombre deportista, con un mayor contenido de masa muscular y menor contenido de masa grasa puede contener hasta el 70% e incluso más de agua corporal total (Williams, 2002).

Aquellos atletas, con límites de agua corporal alterados, perjudican la salud y el rendimiento físico y mental; debajo de su límite se le conoce como deshidratación o hipohidratación y por encima del límite se le conoce como hiperhidratación o sobrehidratación (Noakes, 2012).

La distribución de agua corporal total se resume en 65% fluido intracelular y 35% fluido extracelular (Sawka y col, 2005). La composición del agua es distinta entre los tejidos del cuerpo, en la sangre un 80% se conforma por agua (del cual 60% se encuentra en el plasma y el 40% restante en las células rojas); en el músculo el 70% al 73% (Ascención, 2014) o hasta el 75% según Hackney y colaboradores (Hackney y col., 2012) y en el tejido adiposo el 20 al 25% (Urdampilleta y Gómez, 2014). Esto nos confirma el porqué en un atleta hay mayor contenido de agua que en una persona sedentaria, en especial en aquellos en que predomina la mesomorfía, por ejemplo en los triatletas (Guillen y col., 2015). A pesar de que predomina la composición de agua corporal en dichos atletas, no deja de ser importante una óptima hidratación, ya que en una competencia de resistencia (mayor de 30 minutos sin descanso) es común una pérdida considerable de agua corporal del 2 al 6%, ocasionando efectos negativos producidos por la deshidratación (Clemente, 2011).

¿Qué es la Deshidratación?

La deshidratación es el estado en el cual el individuo ha reducido su contenido de agua corporal total al menos en 1% (Noakes, 2012). No es una enfermedad médica, pero es una condición en la cual se desarrollan efectos nocivos en la salud, desde mareos y dolor de cabeza, hasta golpes de calor, convulsiones e incluso la muerte, según el grado o nivel de deshidratación (Maughan y Shirreffs, 2010^b).

La deshidratación es una condición que se presenta de manera muy frecuente en los deportes de resistencia, en donde se pueden llegar a perder grandes cantidades de agua y electrolitos, y con ello aumentar el nivel de deshidratación; conforme aumenta el nivel de deshidratación, aumenta la gravedad de los efectos adversos que ocasiona (Urdampilleta y Gomez, 2014).

En la Tabla 1 se puede observar una clasificación de la deshidratación en base a las revisiones de artículos que se elaboraron en este trabajo.

Tabla 1. Clasificación de la deshidratación en base al nivel de deshidratación.

Clasificación	Nivel de Deshidratación
Leve	1% a < 2%
Moderada	2% a < 4%
Grave	4% a < 6%
Severa	≥ 6%

Fuente: Adaptada de Urdampilleta y Gómez, 2014; Maughan y Shirreffs, 2010^b

Electrolitos en el Cuerpo del Atleta

El cuerpo está compuesto por varios minerales encargados de producir o conducir la electricidad mediante una solución, a estos minerales se les llama: electrolitos, entre ellos están el cloro, sodio, potasio, magnesio, calcio, fósforo, etc. Los electrolitos de mayor protagonismo al momento de hidratar y reponer lo que se ha perdido son el sodio, cloro y el potasio (Peniche, 2011). Estos son los que se pierden en mayor cantidad por medio de la sudoración, y cabe recordar la importancia de mantener la osmolaridad, donde los electrolitos juegan un papel importante en conjunto con el agua (Apostu, 2014).

Sodio

El sodio (Na⁺) es el electrolito que más se pierde por medio del sudor. En atletas donde el deporte es de tiempo prolongado y el ambiente es caluroso la concentración de sodio del sudor puede ser de 20 a 80 mmol/L (Shirreffs y Maughan, 1997). Cuando la concentración de sodio en plasma disminuye más de 135 mmol/L se presenta una condición perjudicial para la salud llamada hiponatremia (Ascensión, 2014). Según Adrogué (2000), en casos clínicos la hiponatremia puede definirse como aquella condición con valores menores a 136 mmol/L. Actualmente se prefiere manejar la definición de Ascensión, 2014.

A nivel celular el sodio se encuentra en mayor cantidad en el fluido extracelular que en el intracelular. Entre las funciones del sodio, además de mantener hidratado al cuerpo, se incluye transportar y mejorar la comunicación entre célula y célula, regular la cantidad de agua del organismo. Así mismo, interviene en la excitabilidad del músculo y participa en la permeabilidad celular (Urdampilleta y Gomez, 2014). La pérdida de sodio está ligada a calambres musculares (Stofan y col., 2005).

El sodio se puede conseguir por medio de los alimentos; algunos alimentos comunes con más sodio se encuentran en la Tabla 2 (Williams, 2002).

Tabla 2. Cantidad de sodio en alimentos comunes en base a su porción.

Alimento	Porción	Cantidad de sodio (mg)
Mantequilla/Margarina con sal	1 cucharadita	50
Leche descremada	1 taza	120
Kétchup	1 cucharada	155
Mostaza	1 cucharada	195
Requesón con nata	½ taza	320
Queso Americano	30 gr	445
Sopa de pollo con fideos	150 gr	655
Atún en aceite	90 gr	800
Galletas saladas	30 gr	890
Chop suey	1 taza	1050
Espagueti preparado	1 taza	1220
Salsa de soja	1 cucharada	1320
Pavo congelado	1 pieza	1735

Fuente: Williams, 2002

Las cantidades adecuadas de sal recomendada según la OMS es de 5 gr. lo que correspondería a aproximadamente 2000 mg de sodio. Sin embargo no se toma en cuenta la condición de los deportistas. Por ejemplo un atleta que realice ejercicio por un largo periodo y en condiciones ambientales calientes o húmedas puede perder fácilmente 5 litros de sudor con una concentración de 50 mmol/L de Na, situación en la cual deberá consumir al menos 15 gr de sal (NaCl) para restablecer el balance electrolítico (Shirreffs y Maughan, 1997).

Cloro

El cloro mantiene la presión osmótica, el equilibrio del PH (ácido-base) y juega un papel indispensable en el jugo gástrico (Urampilleta y Gómez, 2014). La pérdida del cloro por medio del sudor será directamente proporcional a la pérdida del sodio; normalmente se desplazan en conjunto como cloruro de sodio (NaCl) (Maughan y col., 2004). De hecho, las concentraciones de cloro en el sudor de un atleta son similares a las del sodio: de 20 mmol/L a 60 mmol/L (Shirreffs y Maughan, 1997). Por consiguiente la deficiencia y/o pérdida de cloro en un estado de deshidratación generará los mismos efectos ocasionados por la pérdida de sodio (William, 2002).

La ingesta del cloro se da principalmente por medio de la sal de mesa y cualquier alimento que contenga sal.

No hay una cantidad diaria recomendada (CDR) o ingesta diaria recomendada (IDR) para el cloro, pero se estima que un adulto necesita un mínimo de 750 mg/día (William, 2002).

Potasio

A nivel celular el potasio se encuentra en mayor cantidad en el fluido intracelular con una concentración de 150 mmol/L (98%; mayormente en músculo), mientras que en el fluido extracelular se encuentran 4 mmol/L de potasio (2%) (Unwin y col., 2011). En un atleta las concentraciones de potasio en el sudor oscilan entre 4 mmol/L y 8 mmol/L (Shirreffs y Maughan, 1997). Entre sus funciones está la de regular la cantidad de agua dentro de las células, interviene en la síntesis de proteína y glúcidos, y al igual que el sodio participa en la permeabilidad celular (Urdampilleta y gomez 2014). Participa de manera conjunta con el sodio y el cloro para mantener los niveles adecuados de líquidos corporales y para generar impulsos eléctricos en todos los músculos y nervios; además es necesario para la producción de energía ya que ayuda en el transporte de glucosa hacia el interior de las células musculares y contribuye con el almacenamiento de glucógeno (Williams, 2002).

A la deficiencia de este electrolito se le llama hipokalemia o hipopotasemia (< 3.5 mmol/L), es muy raro que se presente pero puede producir debilidad muscular e incluso paro cardíaco; mientras que el exceso, denominado hiperpotasemia o hiperkalemia (> 5.5 mmol/L) puede alterar los impulsos nerviosos y provocar arritmias cardiacas, pero al igual que la deficiencia es muy raro que se presente (Williams, 2002).

El potasio se encuentra fácilmente en los alimentos, entre los más comunes están los que se muestran en la Tabla 3 (Williams, 2002).

Tabla 3. Cantidad de potasio en alimentos comunes en base a su porción

Alimento	Porción	Cantidad de potasio (mg)
Cereales cheerios	30 gr	110
Pescado	30 gr	160
Naranja	1 pieza mediana	260
Brócoli	1 troncho	270
Zanahoria	1 pieza mediana	275
Leche desnatada	Un vaso (240 gr)	410
plátano	1 pieza mediana	460
Yogurt bajo en grasa	1 taza	530
Patatas asadas	1 ración mediana	780

Fuente: Williams, 2002

La cantidad adecuada de potasio por consumir como mínimo para los adultos según la OMS es de 90 mmol/día, que equivale a 3510 mg/día.

II.- REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL

Como se comentó antes, la temperatura corporal en condiciones normales (en una persona sana y en reposo) va de 36 a 37°C. Este valor es tomado de la temperatura interna, puesto que es la que se mantiene constante, mientras que la temperatura externa (de la piel) cambia constantemente dependiendo de las condiciones ambientales en que se encuentre (Williams, 2002).

Para el organismo de un atleta, mantener la temperatura corporal en la normalidad, puede ser agotador. El organismo se ve forzado a trabajar más debido a las condiciones fisiológicas en las que se expone. Lo anterior genera más calor por el ejercicio; y por si fuera poco, el trabajo termorregulador aumenta en condiciones climáticas calurosas (Wendt y col., 2007).

Mecanismos de Intercambio de Calor

En el cuerpo se está ganando y perdiendo calor constantemente, y son cuatro los mecanismos encargados de liberar el calor corporal de la piel hacia el ambiente: Conducción, radiación, convección, evaporación (Wendt y col., 2007).

Conducción

El calor corporal es transferido a un objeto más frío por contacto físico directo. La circulación sanguínea es la que transmite gran parte del calor total a la piel. Sólo una moderada cantidad de ese calor se propaga por medio de conducción de manera directa, de los tejidos internos hacia las superficie de la piel, que se encuentre más fría (McArdle, 2005).

Radiación

Por medio de este mecanismo el cuerpo irradia su energía calorífica en forma de ondas electromagnéticas al aire del entorno. Este mecanismo actúa cuando el ambiente es menos caliente que el cuerpo ya que la liberación de calor viaja del cuerpo más caliente, hacia el entorno sin la necesidad de tener contacto directo (Peniche, 2011), es por ello que si la temperatura del ambiente es más caliente que el cuerpo, la irradiación calorífica pasará del ambiente al cuerpo a través de la piel. Esto ocurre en climas calurosos.

Convección

Por este mecanismo, el calor corporal es transferido por el movimiento del aire o por el agua en contacto con el cuerpo. Por ejemplo, una persona en un clima con mucho viento pierde más calor por convección que una persona en un ambiente a una misma temperatura pero con menos viento. Los ciclistas pierden calor por este mecanismo cuando el aire es más fresco que el cuerpo, o los nadadores por el mismo mecanismo, pero por el contacto con el agua fresca de la alberca (Peniche, 2011).

Evaporación

La evaporación se da cuando el cuerpo libera el calor para evaporar el sudor. Este es el mecanismo más importante durante el ejercicio, sobre todo en ambientes calientes (McArdle, 2005).

En reposo existen pérdidas de sudor insensibles por medio de la ventilación y difusión. Estas son pérdidas constantes por las cuales no se tiene control alguno, pero que a nivel deportivo son insignificantes (Wendt y col., 2007).

El cuerpo responde al calor ambiental acelerando la secreción de sudor por medio de las glándulas sudoríparas, y el calor interno corporal se utiliza para convertir este sudor que se encuentra sobre la piel, en vapor, ocasionando de esta manera que el cuerpo se enfríe (Peniche, 2011). En la Figura 1 se observa la anatomía de la piel y como el conducto de la glándula sudorípara va desde la base de la piel hasta la epidermis.

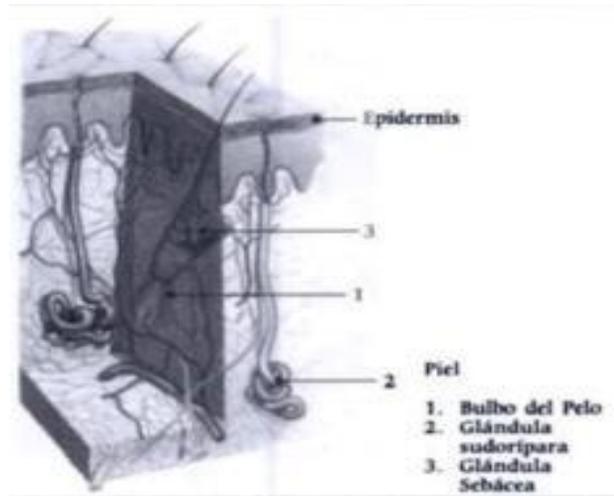


Figura 1. Piel

Fuente: UNAM, 2001 (Anatomía Humana)

Durante el ejercicio en condiciones ambientales muy elevadas, la evaporación es el único mecanismo por el cual el cuerpo puede perder calor, pero también compromete al organismo en cuando a las pérdidas de agua y electrolitos. (Maughan y col., 2004).

Se ha reportado en atletas tasas de sudoración hasta por encima de 3.5L/hr. Cabe mencionar que por cada ml de agua evaporada del cuerpo se pierden 0.58 kcal en la liberación del calor. Por lo que en cada litro de sudor evaporado por la piel se habrán perdido 580 kcal de calor (Wendt y col., 2007; Peniche, 2011).

Fisiología de la Termorregulación y los Factores Fisiológicos Influyentes

Primeramente, para que ocurra una pérdida de calor corporal, el exceso de calor interno debe ser transportado del interior del cuerpo hasta la piel donde podrá ser liberado al medio ambiente (Armstrong, 2007).

En reposo, el proceso termorregulatorio comienza concentrando el flujo del calor corporal interno hacia el músculo esquelético, por tener una tasa metabólica relativamente baja y un flujo de sangre constante, además que su temperatura oscila entre los 33 y 35°C (más bajo que la temperatura corporal). Sin embargo, cuando comienza el ejercicio, ocurre un cambio en este proceso. Debido a que se genera más cantidad de calor, la temperatura del músculo esquelético comienza a elevarse, tanto que empieza una inversión del gradiente de temperatura entre el músculo y la sangre de las arterias ocasionando que el calor se transfiera ahora del

músculo a la sangre y posteriormente a todo el cuerpo. La tasa de transferencia de calor desde el interior del cuerpo o núcleo hasta la piel está determinada por el gradiente de temperatura entre estos dos y por la conductancia de la piel en general (Wendt y col., 2007).

Cuando el calor corporal interno es eventualmente transportado a la piel, la pérdida del calor a través de la piel es acelerada por la vasodilatación cutánea y el mecanismo de sudoración. Ambos procesos responden a señales hipotalámicas (Wendt y col, 2007).

El Papel del Hipotálamo

Estudios acerca de lesiones y de estimulación cerebral, identifican al hipotálamo como una estructura neural con altos niveles de integración termorreguladora. Se han registrado un amplio número de neuronas sensibles al calor en el núcleo anterior y la región preóptica del hipotálamo (Cooper, 2002), en la Figura 2 se muestran los núcleos hipotalámicos; dichas neuronas monitorean de manera efectiva el flujo sanguíneo del cerebro y además detectan cambios en la temperatura central del cuerpo. Además en el núcleo preóptico y anterior se recibe y envía la información sensorial aferente de los termorreceptores hacia el cuerpo incluyendo las vísceras, la medula espinal, la mayoría de las venas y la piel. De este modo, las neuronas termosensitivas del hipotálamo integran y monitorean la información de la temperatura central y peritoneal. Como resultado, el hipotálamo es capaz de iniciar las respuestas de termorregulación de una manera apropiada para cualquier estrés térmico (Boulant, 2000).

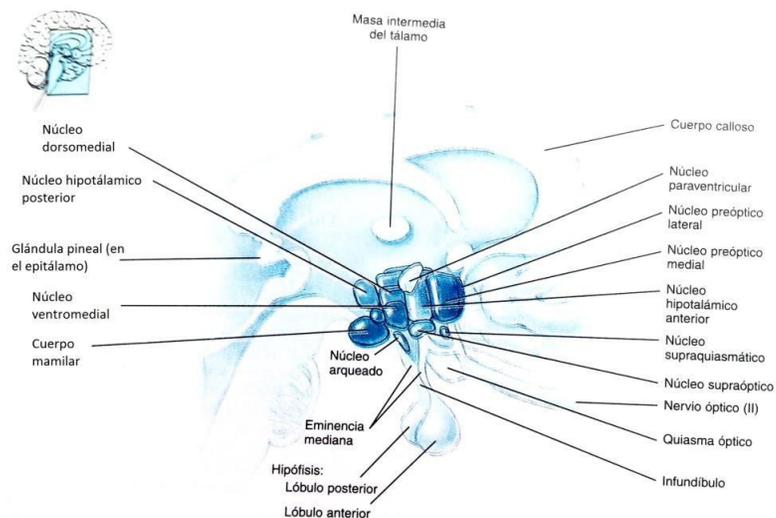


Figura 2. Núcleos hipotalámicos
Fuente: Tortora y Reynolds, 2002

La temperatura en la cual el hipotálamo inicia los procesos de termorregulación, poniendo a trabajar todos los mecanismos de control, es cuando sobrepasa los 37°C, y concluirá con este proceso cuando lleve la temperatura de nuevo a su punto normal (Wendt y col., 2007).

Vasodilatación Cutánea

La circulación cutánea potencia el efecto de la termorregulación al ajustar el tono vasomotor cutáneo. Esto provee un medio práctico y efectivo de modulación del flujo sanguíneo de la piel y a su vez, es más fácil para el calor fluir desde el centro hasta la piel. Sin embargo, esta modificación del tono vasomotor se ve limitada por las respuestas no termorreguladoras del barorreflejo, el cual mantiene la tensión arterial en los límites normales aún cuando se manifiesta la hipertermia (Robles y col., 2014; Mack y col., 2001), y de los ajustes para el ejercicio dinámico (Wendt y col., 2007).

Durante el ejercicio, los reflectores vasomotores tienen la función de la redistribución del flujo de sangre del tejido que se encuentra inactivo. Con esto proporcionan un flujo más eficiente y con ello logran satisfacer las altas demandas metabólicas del músculo esquelético. Mientras que la circulación cutánea es sometida a demandas conflictivas debido a la acción simultánea de las respuestas termorreguladoras y no termorreguladoras que ocurren mientras se realiza el ejercicio (Kellog y col., 1991). Esto se confirma por el hecho de que, aunque la respuesta neta del flujo sanguíneo de la piel depende de la vasodilatación, se presentan constricciones de los vasos sanguíneos de la piel incluso con la presencia de hipertermia con el ejercicio (Wendt y col., 2007; Williams, 2002). Además, el tiempo de la elevación del flujo sanguíneo que se alcanza cuando la temperatura está aumentando en reposo, dura más tiempo, mientras que cuando se alcanza una temperatura superior durante el ejercicio, es limitante. Basta que la temperatura interna se aproxime a los 38°C para que el flujo sanguíneo de la piel se atenúe debido a la sobrecarga excesiva sobre la presión sanguínea. El cuerpo da prioridad a este mecanismo, pero descuida el sistema termorregulador del sistema. (Williams, 2002; Wendt y col. 2007). Concluyendo en que, la magnitud del flujo cutáneo durante el ejercicio está determinada por la influencia competitiva de la vasodilatación y vasoconstricción.

La circulación cutánea es controlada por dos ramas del sistema nervioso simpático: un sistema vasoconstrictor activo noradrenergico y un sistema vasodilatador activo (Wendt y col. 2007). Se presume que la liberación de un cotransmisor desconocido proveniente del nervio colinérgico, es el mecanismo principal de la vasodilatación cutánea (Kellog y col., 1995). Aunque aún no sé está cien por ciento seguro de cómo funciona este mecanismo, está claro

que este sistema es fundamental para controlar el flujo sanguíneo de la piel, ya que su activación puede dilatar las arteriolas de la piel aumentando de esta manera el flujo sanguíneo cutáneo a niveles cercanos de 8 litros por minuto durante el estrés térmico, ocasionando de esta manera que el calor se transmita a la superficie del cuerpo y se elimine con mayor facilidad y que traerá como consecuencia el inicio de la sudoración (Peniche, 2011; Wendt y col. 2007).

El hecho de que el flujo sanguíneo de la piel es controlado por dos ramas diferentes del sistema nervioso simpático, hace alusión a las limitaciones de la vasodilatación cutánea durante el ejercicio por la interacción con los barorreflejos. Por lo que si se eliminarán estas respuestas no termorreguladoras durante el ejercicio, se mantendría una vasodilatación por más tiempo (Mack y col., 2001).

Glándulas Sudoríparas Ecrinas

La función de las glándulas sudoríparas ecrinas es la de excretar el sudor sobre la superficie de la piel para promover la pérdida de calor por medio de la evaporación del agua que hay en el sudor. Estas glándulas ecrinas están en la mayor parte del cuerpo y están inervadas por fibras nerviosas colinérgicas simpáticas (Figura 3) (Tortora y Reynolds, 2002). La estimulación colinérgica de la glándula sudorípara provoca la secreción del fluido precursor, que es un fluido compuesto de la misma forma que el plasma, sólo que sin las proteínas plasmáticas. Por lo tanto, en este fluido predomina el cloruro de sodio, donde lo acompaña en menor cantidad el potasio, el calcio y en cantidades aún más pequeñas el magnesio. A medida de que las glándulas sudoríparas ecrinas están secretando este fluido de manera constante la composición de dicho fluido cambia por la reabsorción de los electrolitos, disminuyendo la osmolaridad del sudor, diferenciándolo del fluido precursor y por ende disminuyendo la concentración de la excreción de los electrolitos; excepto cuando hay una deshidratación en conjunto con el ejercicio puesto que la osmolaridad del sudor aumenta (Shibasaki y col., 2006)

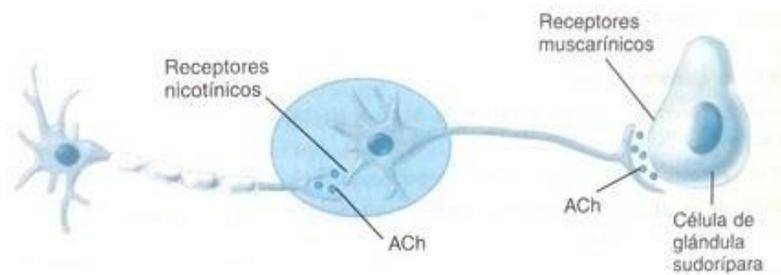


Figura 3. Innervación de las glándulas sudoríparas ecresas

Fuente: Tortora y Reynolds, 2002

En general, los atletas que realizan ejercicio de alta intensidad en el calor suelen tener tasas de sudoración de 1 a 2.5 litros por hora, pero cuando la temperatura ambiental es aún más alta, las tasas de sudoración mayores de 2.5 litros por hora en atletas, son comunes (Sawka y Montain, 2000).

La Aclimatación y el Ejercicio

Durante el reposo y a una temperatura ambiente, la mayor cantidad de calor del cuerpo es transportado por conducción y convección desde el centro hasta la parte externa del cuerpo, siendo la sangre el principal medio de transporte de este calor. También se elimina el calor en gran parte por la radiación, y una cantidad más pequeña lo hace a través de la evaporación como consecuencia de la transpiración imperceptible. Los factores que favorecen la pérdida de calor son por ejemplo, un entorno más frío, un aumento del movimiento del aire, una mayor afluencia de sangre hacia la piel y una mayor superficie de radiación (Williams, 2002).

Por otro lado, en ciertas condiciones, tales como la práctica de ejercicio y bajo condiciones ambientales cálidas, algunos de estos procesos se invierten y el cuerpo en lugar de perder calor tiende a ganarlo (Williams, 2002). Esto se debe a que la temperatura del entorno sumada con el ejercicio, sobrecarga la temperatura del cuerpo y por ende la radiación, convección y conducción contribuirán a transferir el calor de “afuera hacia adentro” del cuerpo; cuando esto ocurre, la evaporación del sudor a través de la piel y la evaporación de agua a través del tracto respiratorio será el único mecanismo que disipe el calor corporal. Esto normalmente se presenta durante el ejercicio a temperaturas ambientales elevadas (>30°C) ocasionando grandes pérdidas de sudor (McArdle, 2005; Peniche, 2011). De hecho hay una

correlación positiva entre la dependencia de la evaporación del sudor como medio para la liberación del calor y la temperatura del entorno: conforme mayor es la temperatura ambiental, mayor es la dependencia de este mecanismo (Gisolfi y col., 1993).

Como resultado del uso continuo del mecanismo de sudoración que se da en atletas entrenados, el medio de la aclimatación se incrementa, ya que el sudar se convierte en el medio de protección térmica del cuerpo, y por lo tanto, las necesidades de reponer el fluido corporal perdido incrementan (Shirreffs y Maughan, 1997). Este es su proceso natural para mantener a raya el aumento de la temperatura corporal interna durante el ejercicio. La aclimatación se hará más efectiva conforme pasen los días de entrenamiento (de una semana a 10 días) y llevando a cabo una hidratación adecuada se logrará: a) una mejor circulación cutánea, b) una mejor distribución del gasto cardíaco, c) disminuirá el umbral de sudoración, d) una mayor facilidad en la producción y distribución de la sudoración y e) una menor concentración de sal (McArdle y col., 2005).

Dicho proceso de aclimatación se ve interferido cuando se presenta la deshidratación, disminuyendo la eficacia de la termorregulación y la tolerancia al ejercicio (Sawka y Coyle 1999).

III.- EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA DESHIDRATACIÓN EN EL ATLETA

La deshidratación reduce la capacidad del trabajo físico, disminuye la tolerancia al calor y la pérdida del mismo, y es un indicativo de riesgo para la salud (Maughan y Shirreffs, 2010^a).

Por lo tanto en cualquier atleta que lleve a cabo un deporte de resistencia, una pérdida de agua corporal total del 2% del peso corporal o más reducirá significativamente el rendimiento deportivo (Maughan y Shirreffs 2010^a).

Este efecto se conoce desde tiempo atrás en deportistas de resistencia. Los efectos adversos que ocasiona un alto nivel de deshidratación incluye un alto riesgo de salud y de muerte. Un ejemplo fue el caso de Jim Peters, en el maratón de los juegos de Vancouver Empire en 1954 y el caso de Gabrielle Anderse-Scheeiss en el primer maratón Olímpico de mujeres en los Ángeles de 1984 (Burke, 2010). Ambos atletas manifestaron ante millones de espectadores los efectos de la deshidratación en plena competición, donde presentaron desorientación, pérdida de fuerza, calambres y desfallecimiento.

Efectos de la Deshidratación Sobre las Capacidades del Rendimiento

Los efectos de la deshidratación sobre las funciones fisiológicas y el rendimiento deportivo han sido estudiados en situaciones previas a la competición y en plena competición. Para ambos casos se somete a los sujetos de estudio (que en su mayoría son sujetos entrenados) a una hipohidratación mediante técnicas de privación de líquidos o induciéndolo a la pérdida excesiva de fluidos corporales (Cheuvront y col 2003). Esto se realiza con el fin de evidenciar los diferentes efectos de la deshidratación y enfatizar las funciones fisiológicas alteradas utilizando estas técnicas antes y/o durante la competencia de resistencia (Cheuvront y col., 2003).

Fuerza y Potencia

La deshidratación puede alterar el metabolismo a nivel muscular, y con ello mermar de manera significativa la fuerza y la potencia del atleta (Judelson y col., 2007).

Se ha demostrado que durante el ejercicio prolongado, a un nivel de deshidratación considerable (>2% del peso corporal), se presenta un uso mayor del glucógeno muscular (un 16% más), en comparación con los atletas que se mantienen ingiriendo fluidos. Menciona Febbraio (2000) que este fenómeno ocurre como resultado de alteraciones en el metabolismo del músculo; y en consecuencia, se provoca un estrés térmico en el músculo activo que

conlleva a aumentar la temperatura central, aumentan los niveles de catecolaminas, y se reduce el rendimiento físico (Febbraio, 2000).

Además, cuando el estrés al que es sometido el músculo por el incremento del calor central es realmente elevado, el gasto cardiaco tiende a reducirse, y por ende el flujo sanguíneo que viaja hacia el musculo activo también (González y col., 1999). Esta situación dificulta el trabajo del metabolismo aeróbico, dando como consecuencia una disminución considerable en la intensidad del ejercicio que se esté realizando. Este efecto resalta aún más, cuando el ejercicio se está realizando bajo condiciones climáticas calientes (Cheuvront y col., 2003). Por ejemplo, un estudio comprobó que hay una disminución en la capacidad de generación de fuerza voluntaria en sujetos que inmediatamente antes realizaron ejercicio prolongado (~1 hora) en un ambiente caluroso (40°C) en comparación con los que lo realizaron en un ambiente templado (19°C) (Nybo y Nielsen, 2001).

Resistencia

El impacto negativo de la deshidratación sobre la resistencia del atleta y durante deportes de este tipo se ha evidenciado convincentemente en distintos estudios desde antes del siglo XXI (Cheuvront y col., 2003). En la Tabla 4 se enlistan algunos de los estudios que Cheuvront y colaboradores (2003) presentaron en su revisión.

Tabla 4. Efectos de la deshidratación sobre el rendimiento en resistencia

N	Tipo de Prueba	Temperatura ambiental (°C)	Nivel de Deshidratación (% PCP)		Resultados en comparación con el grupo control	Referencia
			Estudio	control		
7	Ciclismo al 69% Vo2max seguido del 90% Vo2max hasta el agotamiento.	21	3.2	0.1	Disminuyó el 48% del rendimiento en el grupo de estudio en comparación con el control.	McConell y col., 1997
8	Caminadora estática: a. 1.5 km. b. 5 km. c. 10 km.	15.7 (±5.9)	a. 1.9 b. 1.6 c. 2.1	NPD (AL)	El grupo mejoró su tiempo cuando se le permitió hidratarse en los 5 y 10 km (P<0.05).	Armstrong y col., 1985
6	60 min en el ciclo ergómetro a 70 %Vo2max seguido del 90% Vo2max hasta el agotamiento.	32	1.3	0.16	El grupo de estudio resistió menos tiempo en el ciclo ergómetro al 90% Vo2 max (P<0.005).	Walsh y col., 1994
8	6 hr en el ciclo ergómetro a 55% Vo2max seguido de 30 min de recuperación.	30	6.4	1.2	En el grupo de estudio demostró una deserción de 25% por agotamiento, aumentó el ritmo cardiaco, la temperatura central y la percepción del esfuerzo.	Barr y col., 1991

NPD = No Presentaron Datos; AL = Ad Libitum.

Fuente: Chevront y col., 2003

Como se ha mencionado antes, cuando la deshidratación sobrepasa el 2% del peso corporal total, la disminución del rendimiento del atleta durante ejercicios de resistencia se acentúa más y las alteraciones fisiológicas se presentaran más rápido cuando el clima en el que se realiza dicha actividad es caliente (Chevront y col., 2010).

Son cuatro las alteraciones o factores fisiológicos que surgen en este tipo de condiciones que interfieren con la resistencia del atleta: 1) el incremento de la tensión cardiovascular, 2) el incremento del calor interno, 3) la alteración del sistema nervioso central y 4) la alteración de la función metabólica. Todos estos factores funcionan en conjunto. Pero sin duda, el que tiene un papel protagónico en perjudicar el rendimiento deportivo es el incremento de calor interno o también llamado hipertermia (Chevront y col., 2003).

El rendimiento durante el ejercicio de resistencia disminuye del 7% hasta el 60% cuando se realiza a una temperatura ambiental mayor de 30°C y con una deshidratación del 2% al 7%

del peso corporal. Esto demuestra que, entre más deshidratado se encuentre el atleta, mayor será la pérdida del rendimiento (Maughan y Shirreffs, 2010^a); además se ha visto que la reducción del rendimiento tiene una correlación positiva con el incremento de la temperatura central, el incremento de la frecuencia cardíaca y el incremento de la valoración del esfuerzo percibido; por lo que dichos factores son tomados en cuenta al momento de realizar estudios y comparaciones sobre el rendimiento deportivo en atletas de resistencia (Cheuvront y col., 2010).

Como el aumento de la tensión cardiovascular va ligada al aumento de la valoración del esfuerzo percibido, el rendimiento en el deporte de resistencia se ve comprometido por la desmotivación de continuar con la misma intensidad y furor que en el inicio de la competencia. Esto mismo se observa en temperaturas templadas, pero cuando el ejercicio tiene una duración mayor de 90 minutos y el nivel de deshidratación es mayor al 2% (Cheuvront y col., 2003; McConell y col., 1997). Pero la disminución del rendimiento sigue siendo menor en comparación a la disminución del rendimiento en climas calurosos; por ejemplo, un atleta deshidratado en climas calurosos, disminuye en un 40% el rendimiento durante el ejercicio, mientras que el mismo atleta en un clima templado y en la misma condición hídrica disminuye sólo el 20% (Cheuvront y col., 2003). No obstante, cuando el ejercicio tiene una duración menor y el nivel de deshidratación es del 1 al 2% el rendimiento en la resistencia no se ve alterado, así mismo, los factores fisiológico involucrados, como la tensión térmica (central) o la tensión cardiovascular, no se ven incrementados en estas situaciones (Bachle y col., 2001). Cabe dejar claro que, aunque el rendimiento no se ve afectado, no significa que la salud no se ponga en riesgo (Patel y col., 2007).

Efectos de la Deshidratación Sobre la Tensión Cardiovascular y la Tensión Térmica en el Atleta de Resistencia

A pesar de que no todos los atletas cuentan con las mismas condiciones físicas (edad, sexo, peso, etc.), todos son susceptibles a que su sistema nervioso central, cardiovascular, termorregulatorio y sus funciones metabólicas se vean alteradas por la deshidratación (Cheuvront y col., 2003). Las alteraciones pueden ocurrir a algunos más pronto que a otros y con síntomas en mayor o menor proporción, según el ambiente en el que realicen el ejercicio, según la intensidad, su tasa de sudoración o su capacidad de retención de líquidos (Sawka y Coyle, 1999).

Tensión Cardiovascular vs Tensión Térmica

El esfuerzo de la función que realiza el sistema cardiovascular aumenta cuando se presenta la deshidratación. Lo anterior provoca un incremento de la frecuencia cardiaca y una disminución en la cantidad de sangre eyectada de la contracción cardiaca hacia el torrente sanguíneo, esto disminuye el volumen sistólico durante el ejercicio de resistencia, ya sea a temperatura ambiente o caliente, a esto se le llama tensión cardiovascular. Sin embargo, cuando esta función se lleva a cabo en condiciones calientes, sometiendo al cuerpo a una tensión térmica (incremento de la temperatura central), el atleta se vuelve incapaz de mantener el gasto cardiaco, que es la cantidad de sangre expulsada por minuto del corazón (Cheuvront y col., 2010) dando como resultado una reducción en la intensidad del ejercicio o discontinuación del mismo. Se presume que esto ocurre porque la deficiencia de agua corporal hace que disminuya el llenado cardiaco (llenado Diastólico), por lo cual disminuye el volumen de sangre hacia el torrente sanguíneo, provocando el desbalance de la temperatura corporal (Sawka y col., 1999; Coyle y González, 2001).

El volumen sistólico se reduce aproximadamente en un 7 a 8% por una deshidratación del 4 % o por una hipertermia (>39°C de la temperatura corporal), pero cuando se presentan juntas, la deshidratación y la hipertermia, la reducción del volumen sistólico es de un 20%, en otras palabras, más del doble (Cheuvront y col., 2003).

Realizar ejercicio de resistencia sin beber fluidos, nos llevará a un estado negativo de agua corporal total (deshidratación), debido a la pérdida de fluidos corporales sin la correcta reposición, con lo cual abre espacio a que el sistema cardiovascular se vea forzado y el ritmo cardiaco aumente, al mismo tiempo que se descompensa el volumen sanguíneo (Cheuvront y col., 2010). De este modo la tensión cardiovascular del atleta aumenta paulatinamente, especialmente la frecuencia cardiaca en aproximadamente un 17% (Cheuvront y col., 2003). Esto ocurre tanto en personas entrenadas como no entrenadas y a condiciones ambientales calientes o templadas a partir de la pérdida del 2% del peso corporal (Judelson y col., 2007; Urdampilleta y Gomez, 2014). En la Figura 4 se muestra un esquema elaborado sobre lo anterior mencionado.

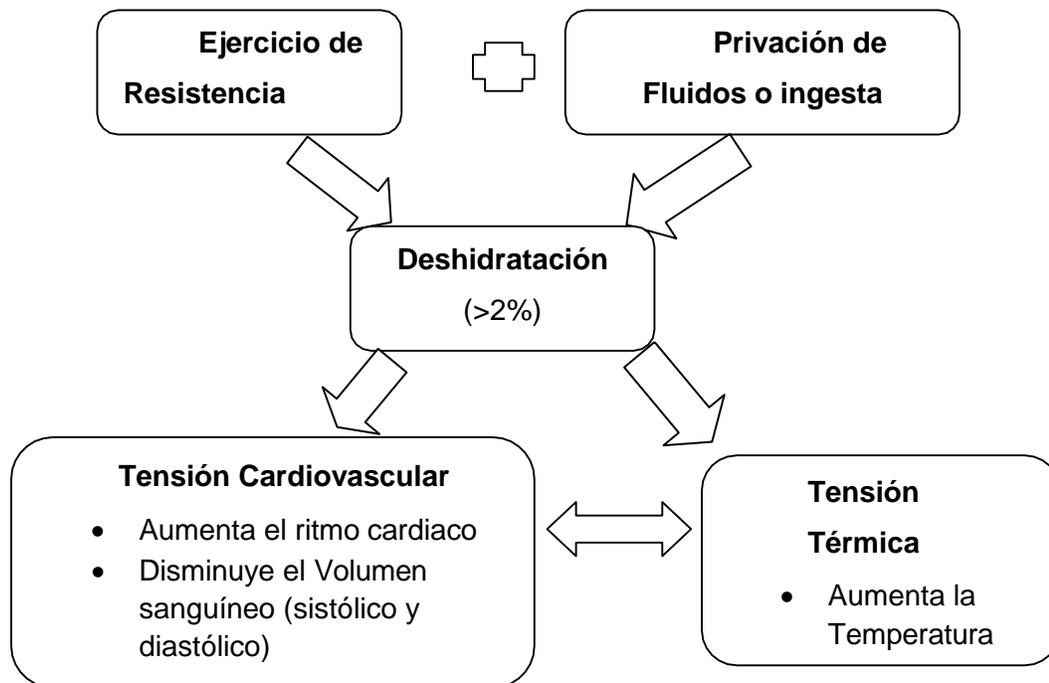


Figura 4. Esquema general que incita a la tensión termorreguladora.
Fuentes: Judelson y col., 2007; Urdampilleta y Gomez, 2014

Del mismo modo, en ambientes húmedos puede incrementarse la temperatura de la piel y por ende aumentar la demanda del sistema de enfriamiento debido a una sudoración excesiva y una evaporación reducida, provocando un incremento de la frecuencia cardiaca en respuesta a la elevación de la temperatura central (Rowell, 1993).

La deshidratación y la elevación de la temperatura central reducen el rendimiento de la resistencia al aumentar la tensión cardiovascular por un intento de incrementar el flujo sanguíneo de la piel para enfriar el cuerpo (Charkoudian, 2003). El mecanismo termorregulatorio destina cerca del 90% de su función a la incrementación del flujo sanguíneo cutáneo en ambientes calientes, cuando se está bien hidratado (Cheuvront y col., 2003).

Efecto en los Marcadores Endocrinos del Atleta de Resistencia

El estado de agua corporal total influye en las respuestas hormonales y vías metabólicas de los sustratos, incluso antes de las pruebas de resistencia o después, esto se ve sobre todo cuando el nivel de deshidratación sobrepasa del 4.8% de su peso corporal total (Judelson y col., 2008). A pesar de ello, se ha visto que los atletas experimentados, que llevan a cabo sesiones repetitivas de ejercicios de resistencias, se adaptan a estos cambios hormonales e incluso su

organismo se modifica a favor del atleta para un mejor desempeño físico en las sesiones de entrenamiento (Hansen y col., 2001). Sin embargo, los efectos de una deshidratación durante el ejercicio de resistencia no dejan de ser despreocupante y pone en riesgo el rendimiento y salud del atleta.

Una deshidratación notoria durante ejercicios de resistencia aumenta las catecolaminas y disminuye la respuesta de las hormonas anabólicas como la testosterona, gracias a la mayor secreción del cortisol y de la insulina (Judelson y col., 2008).

A pesar de que la insulina es una hormona que favorece la absorción de la glucosa, esto no ocurre durante el ejercicio de resistencia cuando se presenta un estado de deshidratación. De hecho la glucosa en plasma puede verse aumentada después de una prueba de resistencia, esto se debe a que durante la deshidratación, el volumen celular es disminuido y promueve una resistencia a la insulina (Schliess y Haüssinger, 2003) ocasionando una mayor concentración de insulina en plasma y una mayor concentración de glucosa.

Por otro lado, distintas investigaciones se han realizado para monitorear los niveles de la hormona del crecimiento durante la deshidratación, en donde han visto alteraciones positivas (aumenta la concentración) (Francesconi y col., 1984; Saini y col., 1990; Veselkova y col., 1988). También se han observado alteraciones negativas donde se disminuye la concentración (Peyreigne y col., 2001). Sin embargo cuando se combina la deshidratación con ejercicios de resistencia, no se ha visto alteración alguna de esta hormona (Judelson y col., 2008). Esto puede ser debido al equilibrio que se alcanza entre las catecolaminas (encargadas de secretar esta hormona) y los inhibidores de esta hormona (glucosa y ácidos grasos libres) (Borer, 2003). Algunos estudios que muestran que la concentración de la hormona del crecimiento aumenta, usaron un protocolo de ejercicio de más de 140 minutos a una temperatura ambiental caliente (Francesconi y col., 1984; Saini y col., 1990). Es decir que, fue demasiado tiempo de ejercicio y demasiado el esfuerzo termorregulatorio y cardiaco; o usaron un protocolo de alta intensidad (Vaselková y col., 1988), una intensidad en la que un atleta de resistencia generalmente no llega, y un periodo más corto de ejercicio (<30min); estas situaciones se prestan para que ocurra un aumento de las catecolaminas y/o aumentar la hipoglucemia, los cuales son factores para la estimulación de la secreción de la hormona del crecimiento (Judelson y col., 2008), y al no equilibrarse con los inhibidores, la respuesta de esta hormona será notoria. Aunado a esto, está demostrado que la hormona del crecimiento es todavía más potenciada por el incremento del lactato en sangre, compuesto que se manifiesta en este tipo de pruebas (Godfrey y col., 2003).

En cambio en el estudio en donde se muestra que disminuye la concentración de esta hormona (Peyreigne y col., 2001) fue probablemente por la limitación del sistema nervioso simpático debido a las condiciones climáticas (25°C) y a una duración corta de ejercicio (40 min).

Hiponatremia Asociada al Ejercicio

En una maratón, el atleta se expone a ciertos problemas que no se ven comúnmente en la población general, de hecho, un 2% de los corredores requiere atención médica para tratar desde calambres hasta colapsos por hiponatremia asociada al ejercicio (EAH, por sus siglas en inglés) (Kipps y col., 2011). Esta última ha sido responsable de la muerte de al menos cinco corredores en Estados Unidos y Reino Unido en los últimos años (Siegel y col., 2007; Hew-Butler y col., 2008), número que podría ser considerablemente mayor si no se permitiera la atención médica. De hecho, en algunos estudios de corredores voluntarios en maratones en Europa y los Estados Unidos, la incidencia de hiponatremia es entre el 3 y el 22% (Mettler y col., 2008; Chorley y col., 2007). Por ejemplo en un estudio en la maratón de London 2003, el 11% en corredores voluntarios presentaron niveles de sodio de 128 a 134 mmol/L, aunque sin síntoma alguno (hiponatremia asintomática) (Kipps y col., 2011).

La Hiponatremia asociada al ejercicio (EAH), se presenta cuando la concentración de sodio en plasma es menos de 135 mmol/L durante o hasta 24 hrs. después del ejercicio prolongado (Hew-Butler y col., 2008). Debido a que el verdadero problema de la hiponatremia no se evalúa sólo con el nivel de sodio en plasma, la hiponatremia se clasifica en “sintomática” y “asintomática”; siendo la primera en esta clasificación, la que se toma en cuenta para predecir un serio problema clínico (Hew-Butler y col., 2008).

Síntomas de la Hiponatremia

Los primeros síntomas puede ser variados y no tan graves en los que se encuentra la distensión abdominal, náuseas, vómitos y dolor de cabeza. Sin embargo, en las manifestaciones más graves de hiponatremia se presenta la encefalopatía hiponatremica causada por edema cerebral, lo que puede dar lugar a confusión, convulsiones, coma y finalmente la muerte (Hew-Butler y col., 2008).

Causas de la Hiponatremia

De manera más frecuente, la hiponatremia asociada al ejercicio se da por un aumento del agua corporal total en relación a las reservas de sodio intercambiables, a esto se le llama hiponatremia dilucional (Hew-Butler y col., 2008). Existen factores etiológicos que influyen en este caso, como son: el consumo excesivo de líquidos, con bajo o nulo aporte de sodio, en comparación con el líquido corporal total perdido (Hew-Butler y col., 2008; Almond y col., 2005), la función renal alterada (Siegel y col., 2007), una larga duración en la carrera (Hew-Butler y col., 2003), el sexo femenino (Speedy y col., 1999) y una baja estatura (Almond y col., 2005). Por otro lado, la EAH se puede presentar por una pérdida excesiva de sodio, aunque no se ha demostrado como un factor primario (Hew-Butler y col., 2008).

Hay estudios en carreras oficiales, en donde no se encontraron relaciones significativas de los individuos con EAH contra los que no presentaron EAH, en cuando al IMC, sexo, en el peso antes de la carrera, en la experiencia, ni en el tiempo en que terminaron la carrera; sin embargo hubo una diferencia significativa en cuando a la cantidad de fluidos ingeridos ($P=0.001$) y en cuando a la tasa los mismos (ml/h) ($p=0.002$), además hubo una diferencia significativa en cuando al peso después de la carrera, los que presentaron hiponatremia aumentaron su peso corporal total, mientras que los que no presentaron lo disminuyeron ($P<0.001$) (Kipps y col., 2011).

Conociendo esto, se puede afirmar que el factor etiológico principal que ocasiona que se presente la EAH, es el consumo excesivo de fluidos sobre pasando la cantidad de fluidos perdida (Hew-Butler y col., 2008; Almond y col., 2005; Hew-Butler y col., 2003).

Factores de Riesgo

Hay un riesgo mayor de hiponatremia cuando el ejercicio es en climas calurosos que en climas fríos, debido a que los atletas beben más líquidos en estas condiciones climáticas (Cheuvront y Haymes, 2001). Además, la EAH es más común en ejercicios con duración de más de 4 horas, y en los corredores más lentos, ya que tienden a consumir una excesiva cantidad de fluidos en comparación a los más rápidos (Almond y col., 2005; Hew-Butler y col., 2003; Speedy y col., 1999; Reid y col., 2004).

Tipos de Hiponatremia

La hiponatremia se puede presentar de tres maneras: Hipertónica, isotónica e hipotónica. A las primeras dos, se les conoce como falsas hiponatremias, porque se presentan por el desbalance de distintos sustratos (diferentes del sodio), consecuencia de patologías no aptas, ni permitidas en atletas de resistencia, como diabetes, dislipidemias, disfunción renal, etc. Por lo que son hiponatremias poco o nada comunes en deportistas de resistencia (García-Frade y Mas, 2007).

Por lo tanto, el enfoque será para la hiponatremia hipotónica, la cual es el tipo de hiponatremia asociada al ejercicio y se divide en hiponatremia hipovolémica, euvolémica e hipervolémica.

Hiponatremia hipovolémica. Es la disminución del agua corporal total y del sodio en plasma (deshidratación), pero en este estado la pérdida de sodio es mayor que la del agua por lo que se pierde el balance de agua-sodio intra y extracelular. La concentración de sodio de menos de 20 mEq/L en la orina, indica una pérdida extrarrenal tales como, vómitos, diarrea, sudoración excesiva o pérdida de sangre. Mientras que los altos niveles de sodio en la orina (mayor a 20 mEq/L) indica algún problema renal o el uso de diuréticos (Stachnik, 2013).

Hiponatremia euvolémica. En este estado el contenido de sodio es igual, pero el agua corporal total se incrementa. Este tipo de hiponatremia es el más común, normalmente se presenta por el consumo excesivo de fluidos carentes de minerales durante el ejercicio prolongado y también por una dieta baja en sodio; cuando es este el caso, la osmolaridad de la orina es inferior a 100 mosm/L y el nivel de sodio en la orina es baja (<20 mEq/L) (Stachnik, 2013). Pero si la osmolaridad de la orina es mayor de 100 mosm/L y los niveles de sodio en orina son altos (> 20 mEq/L), puede deberse a una mala función de la hormona antidiurética (Stachnik, 2013), la cual es una incapacidad para excretar orina diluida.

La función inapropiada de la hormona antidiurética durante el ejercicio causa una alteración en la función renal, motivo por el cual, la retención de fluido puede ser un mecanismo secundario que provoque hiponatremia asociada al ejercicio, aunque se halla ingerido cantidades excesivas de fluidos (Siegel y col., 2007; Noakes y col., 2005).

Hiponatremia hipervolémica. En este estado el contenido tanto de agua corporal total como de sodio se incrementan, pero en mayor medida el agua. Es una situación parecida a la hiponatremia anterior, en donde se presenta el desbalance de agua y sodio por el consumo excesivo de fluidos durante el ejercicio de resistencia. Sin embargo, en este tipo de hiponatremia, la osmolaridad de la orina es mayor de 100 mosm/L, con una concentración de sodio menos de 20 mEq/L., lo que indica que puede deberse a una insuficiencia cardiaca, cirrosis o síndrome nefrótico, situación presente comúnmente en pacientes con este tipo de problemas en los que el organismo opta por retener liquido para mantener un volumen efectivo en la circulación sanguínea (Reid y col, 2004).

Prevención de la Hiponatremia Asociada al Ejercicio

Monitorear el cambio de peso antes y después de la carrera es una medida objetiva y útil para estimar la ingesta de fluido y la retención (Almond y col., 2005; Siegel y col., 2007)

Un estudio reciente dicta que debe de haber una pérdida de peso necesario en una maratón para evitar la presencia de hiponatremia, esta pérdida mínima es de 0.75kg (Chorley y col., 2007).

Aunque en el estudio de kipps (carrera de Londres 2003) se presentó la hiponatremia en un clima frío, se debe educar a entrenadores, atletas y organizadores a beber solo lo adecuado, y alertar que en condiciones climáticas calientes la hiponatremia puede acentuarse más en los individuos que tienen a beber más agua en este tipo de clima (Kipps y col., 2011).

Otras prácticas que se deben tomar para prevenir esta condición desfavorable son las siguientes (Peniche, 2011):

- Mantener una dieta salada
- Preferir el uso de bebidas deportivas en lugar del agua sola
- No sobre hidratarse
- Reconocer los síntomas a tiempo

Tratamiento

Un tratamiento adecuado depende de la participación médica y debe dejarse en manos de los profesionales. Ellos monitorearán el sodio sérico, realizarán la reposición del volumen mediante la administración de solución salina y llevaran un tratamiento en base a la causa desencadenante y al tipo de hiponatremia (García-Frade y Mas, 2007).

IV.- EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN

Existen diferentes técnicas para evaluar el estado de hidratación de los atletas, las cuáles son muy útiles para monitorear el cambio hídrico antes, durante y al terminar una competencia (Fernández y col., 2014).

A pesar de la variabilidad de técnicas, evaluar y monitorear el agua corporal, especialmente en el atleta resulta bastante complejo, es por ello que se debe aceptar que no hay en la actualidad un solo método válido, que evalúe todos los compartimentos en donde el agua corporal total se encuentra en el ser humano (Fernández y col., 2014). Sin embargo, conocer estos métodos de evaluación nos ayuda al momento de aplicarlos en el campo deportivo, ya que sabremos cual elegir y cómo utilizarlo de manera correcta evitando el sesgo. De gran importancia es dar a conocer al menos una estimación de su condición o estado de hidratación al atleta que realiza un ejercicio intenso por un tiempo prolongado y/o en climas cálidos. Esto ayuda a corregir los problemas de deshidratación o sobrehidratación en caso de presentarse o evitarlos (Cheuvront y Sawka, 2005).

Todas las técnicas tienen sus ventajas y desventajas, algunas pueden ser más confiables que otras, más baratas en cuando al material y análisis, más fáciles de aplicar, y más precisas, entre otras diferencias; pero de igual manera todos son aceptables, lo fundamental es saber elegir cuál usar en tal momento y cómo se aplica (Armstrong, 2007; Sawka, 2005).

Métodos No Invasivos

Sed

La percepción de la sed, es un método que ha sido propuesto desde tiempo atrás como un índice simple para la deficiencia del fluido corporal o deshidratación (Maresh y col., 2004; Maresh y col., 2001). Sin embargo, aún no hay suficiente evidencia para decidir sobre la capacidad de este índice en cuanto a la detección temprana de la pérdida de agua corporal total en lo que a atletas respecta (Cheuvront y Sawka, 2005).

La percepción de la sed está mediada por las hormonas reguladoras del fluido corporal, las cuales promueven la ingestión de líquidos; convirtiéndolo en un síntoma útil, que lleva a la recuperación del fluido corporal. Esta recuperación puede ser por medio de la ingesta, ya sea antes, durante o después del ejercicio; por eso, este método está psicológicamente relacionado con el estado de hidratación (Maresh y col., 2004).

Método. Para obtener resultados de la percepción de la sed, normalmente se utiliza la escala de Likert, en la que consiste de un rango del 1 al 9, en donde 1 significa “ausencia de sed” y 9 significa “demasiado sediento” (Maresh y col., 2001; Fernández y col., 2014). En base a esta escala una puntuación entre el 3 y el 5 puede ser un buen indicador que el sujeto está ligeramente deshidratado (Young y col., 1987).

Ventajas. Es un indicador sencillo de realizar. Se sugiere que la escala de la percepción de la sed sea un indicador válido para conocer cuando hay una deshidratación ligera o grave (Fernández y col., 2014).

Desventajas. La escala presenta fallas cuando el sujeto se encuentra en un estado de euhidratación o deshidratación extrema (Fernández y col., 2014). Son muchos los factores que pueden alterar la percepción de la sed tales como la palatabilidad de nuestro propio fluido, el tiempo permitido para el consumo de líquidos, el tiempo desde la última ingesta de líquidos, distensión gástrica, la edad avanzada, el sexo y la aclimatación al calor (Ascensión y col., 2014; Armstrong, 2005). Además la sensación de sed se presenta muy tarde (cuando el sujeto ya se encuentra deshidratado) y se desaparece muy pronto (antes de llegar a la euhidratación) (Fernández y col., 2014 y Panel on DRI, 2005)

Peso Corporal

Como se ha mencionado anteriormente, medir el peso corporal para estimar la cantidad de fluidos perdidos o ganados, ha sido, y sigue siendo, una estrategia ideal para realizar esta acción cuando no se tiene acceso a métodos más sofisticados.

Cuando se habla del nivel de deshidratación de un atleta en porcentajes, se refiere a la pérdida del peso corporal del atleta en forma de fluidos. Por ejemplo si un atleta pesa 80 kg antes de una competencia de resistencia, y después de la misma se vuelve a pesar dando como resultado 77kg, quiere decir que el atleta ha perdido el 3.7% de fluidos corporales, lo que se traduce de la siguiente manera: el nivel de deshidratación del atleta después de la competencia fue de más del 3% del peso corporal. El uso de esta técnica implica que 1 gr de masa corporal perdida es equivalente a 1 ml de agua perdida (Cheuvront y Sawka, 2005).

Medir el peso corporal para evaluar el estado de hidratación del atleta provee una resolución de medición de ± 0.1 L de agua corporal total, convirtiendo este método en una medida directa en donde su validación está basada en la pérdida y ganancia del agua corporal

total, acercando su precisión a métodos más sofisticados (como la dilución isotópica) (Armstrong, 2007).

Método. Sólo se necesita una báscula, y que la persona se pese con el cuerpo desnudo antes y después del ejercicio para calcular la diferencia del peso corporal ganado (cuando hay una sobre ingesta de fluidos) o perdido (cuando hay una deshidratación) (Cheuvront y Sawka, 2005).

Ventajas. Se considera un método sencillo de aplicar, evalúa los cambios rápidos en el estado de hidratación que ocurren en el atleta tanto en el laboratorio como en campo, y también puede monitorear el balance diario de líquidos, aún durante períodos largos, siempre y cuando se conozca el peso corporal estable (Cheuvront y col., 2004).

Desventajas. El peso corporal total puede verse alterado con el paso del tiempo, cuando se presentan cambios en la composición corporal y no es controlado o monitoreado (Cheuvront y Sawka, 2005).

Orina

La orina es una solución de agua y varias otras sustancias presentes como el desecho de fluidos por medio de las vías urinarias. La concentración de dichas sustancias aumenta con la disminución del volumen de la orina, la cual está asociada con la deshidratación (Cheuvront y Sawka, 2005).

El análisis de la orina, ha sido desde hace tiempo una alternativa recomendada para la evaluación del fluido corporal total y medir el estado de hidratación por ser un método no invasivo (Fernández y col., 2014). Sin embargo, si se compara con un método invasivo, como el uso de sangre, para detectar el estado de deshidratación, los resultados del análisis de orina resultan lentos o poco precisos (Popowski y col., 2001). Medir diariamente el volumen de la orina no resulta ser muy práctico, además de que a veces puede haber una gran variación. Por ellos, existen otras técnicas con mayor validez al momento de evaluar cuantitativamente (Gravedad específica y osmolalidad) o cualitativamente (color de la orina) la concentración de la orina para detectar el estado de hidratación; esta prueba resulta mucho más sencilla que algunos otros métodos (Cheuvront y Sawka, 2005). Además funciona muy bien como herramienta de investigación, ya que se puede diferenciar la euhidratación de la deshidratación

obteniendo una evaluación confiable con umbrales razonablemente definidos (Armstrong y col., 1994; Bartok y col., 2004).

Osmolalidad de la orina. Es la medida del contenido de solutos totales en la orina, al momento de evaluar el estado de hidratación. Por ser un método no invasivo, puede sustituir al análisis de la osmolalidad en plasma (Popowski y col., 2001; Shirreffs, 2003). Incluso, ha sido tomado en cuenta como la medida base o de estándar de oro para determinar el estado de hidratación en atletas de combate por su precisión (Fernández y col., 2014). A continuación se presenta una tabla con los valores de la osmolalidad en la orina según el estado de hidratación (Tabla 5).

Tabla 5. El estado de hidratación en base al valor de la osmolalidad

Estado de Hidratación	mOsm/Kg
Euhidratación	250 – 700
Deshidratación	701 – 1080
Deshidratación severa	1081 – 1500

Fuente: Fernández y col., 2014

Gravedad Específica. Algunos autores han encontrado que la gravedad específica urinaria está altamente correlacionada con la osmolalidad de la orina (Hamouti y col., 2010; Hamouti y col., 2013; Oppliger y col., 2005). De hecho Armstrong (2005) encontró pertinente validar el uso de la gravedad específica urinaria en diferentes poblaciones con un moderado nivel de deshidratación (Armstrong, 2005). Fernández y col. (2014) sugieren que este método se tome en cuenta como la segunda opción para evaluar cualquier estado de hidratación por medio de la orina (tomando como primer lugar, la osmolalidad de la orina. El Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM, por sus siglas en inglés) estipula un nivel de euhidratación cuando el resultado de la gravedad específica de la orina es < 1.020 , cuando es mayor o igual a este valor es deshidratación y cuando es mayor o igual a 1.030 hay una deshidratación severa (Sawka y col., 2007).

Color de la Orina. Es determinado por la cantidad de urocromos presentes en la muestra de orina. Cuando el volumen de la orina excretada es grande, la orina se diluye y se palidece. Al contrario, cuando el volumen es pequeño, la orina se concentra y oscurece (Shirreffs, 2003). Por su sencillez de aplicación, Armstrong y colaboradores han utilizado este método en diversos estudios. (Armstrong, 2005; Armstrong, 2007; Armstrong y col., 1998; Armstrong y col., 1994).

Al igual que la gravedad específica, se ha encontrado una correlación alta del color de la orina con la osmolalidad de la misma (Armstrong y col., 1998; Armstrong y col., 1994), validando esta técnica para diferentes poblaciones para evaluar el nivel de deshidratación moderado (Armstrong, 2005). Sin embargo la correlación sigue siendo menor a diferencia de la gravedad específica con la osmolalidad (Fernández y col., 2014).

Este método se ha visto que tiene poca precisión para identificar el estado de hidratación de los atletas en comparación con el uso de la osmolalidad de la orina y la gravedad específica (Armstrong, 2005; Armstrong, 2007; Armstrong y col., 1994). No obstante, diferentes estudios consideran que el color de la orina puede ser de gran ayuda en el ámbito deportivo o en cualquier instalación donde no se requiere una evaluación de alta precisión de la deficiencia de fluido corporal (Armstrong, 2005; Armstrong y col., 1998; Armstrong y col., 1994; Ascensión y col., 2014). El bajo nivel de precisión de esta técnica podría ser compensado por su simplicidad y bajo costo para evaluar el estado de hidratación en campo (Fernández y col., 2014).

Métodos. Para las tres técnicas (Osmolalidad, gravedad específica y color de la orina), se realiza una toma de muestra de 10 ml de la primera orina del día, después de un ayuno nocturno, esto para reducir a un mínimo las posibles alteraciones y elevar la confiabilidad de la medición y del estado de hidratación (Armstrong y col., 1994; Cheuvront y Sawka, 2005). La diferencia está en que, para medir la osmolalidad de la orina, se requiere del osmómetro (Figura 5A), el cuál es un análisis caro, mientras que para las otras dos técnicas (Gravedad específica y color de la orina) no se necesita de mucho gasto; en el caso de la gravedad específica se requiere de un aparato relativamente económico llamado refractómetro (Figura 5B) (Bartok y col., 2004), y en el caso del color de la orina se hace uso de una escala de colores que va del uno al ocho donde el 1 es amarillo muy pálido (significa euhidratación) y se va oscureciendo conforme ascienden los números hasta el 8, donde es un color marrón verdoso, que significa deshidratación extrema (Figura 5C) (Cheuvront y Sawka, 2005). El proceso de análisis se realiza dos veces y se toma en cuenta la media de ambos análisis (Fernández y col., 2014).



Figura 5. A: Osmómetro Advanced Model 3250; B: Refractómetro análogo de 0-32% Brix; C: Escala de colores de orina de Armstrong y col., 1998

Ventajas. Medir la concentración de orina por estas técnicas, se consideran relativamente sencillas (excepto la osmolalidad), rápidas y son una herramienta confiable para investigación (Cheuvront y Sawka, 2005).

Desventajas. Es de fácil alteración, por eso el momento en que se toma la muestra es crítico, el análisis del color de la orina puede ser subjetivo y el análisis de la osmolalidad de la orina resulta costoso y necesita de un experto (Armstrong y col., 1998).

Bioimpedancia Eléctrica

La Bioimpedancia eléctrica, no implica ningún tipo de análisis bioclínico y ha sido propuesto como un índice sencillo para la deficiencia del fluido corporal (Maresh y col., 2004; Maresh y col., 2001; Young y col., 1987). Sin embargo aún no hay suficiente evidencia como para dar por

hecho que con esta técnica se detecta rápidamente la deshidratación corporal en atletas (Fernández y col., 2104).

La bioimpedancia eléctrica ha sido estudiada en diferentes poblaciones, dando buenos resultados en cuando al estado de hidratación (Utter y col., 2012). Sin embargo en deportistas puede no ser una herramienta muy fiable al momento de evaluar el nivel de deshidratación inducido por el ejercicio (Koulman y col., 2000; Bartok y col., 2004). A pesar de ello hay investigaciones que defienden la eficacia de este método, dando por hecho que los resultados son confiables cuando se busca medir el agua corporal total y para calcular el volumen del fluido intra y extracelular (Koulman y col., 2000), pero esta afirmación no cubre los análisis en campo, como el que se realiza en atletas, previo o posterior a la competencia (Fernández y col., 2014).

La Bioimpedancia como una medida para el agua corporal total tiene una resolución de medición de aproximadamente 0.8-1.0 L (Fernández y col., 2014) y es por eso quizás, que no es apropiada cuando la deshidratación es menor de 800-1000 ml.

Método. Utiliza una corriente de bajo amperaje (de frecuencia única o múltiple) que pasa entre los electrodos de la piel con la suposición de que la resistencia de la corriente (impedancia) varía inversamente con el contenido de agua y electrolitos del tejido (Cheuvront y Sawka, 2005), se requiere que el sujeto esté en reposo total y de preferencia acostado boca arriba durante un tiempo determinado, sin accesorios que puedan interferir con la corriente de la impedancia (metales); en el laboratorio de la Universidad de Sonora se cuenta con un analizador de composición corporal SECA mBCA 514 (bioimpedancia eléctrica) utilizada para este tipo de mediciones con el cual se puede realizar con el sujeto de pie, es un aparato preciso, rápido y versátil, (Figura 6). Bajo control, la bioimpedancia eléctrica estima cuantitativamente el agua corporal total, separando la masa grasa con la masa libre de grasa y con la suposición de que el 73% de la masa libre de grasa es agua (Ascensión y col., 2014).



Figura 6. Analizador para la composición corporal SECA mBCA 514

Fuente: SECA products

Ventajas. Es un indicador fácil y rápido de aplicar. Se correlaciona bien con las mediciones del agua corporal total realizadas utilizando el método de la dilución de isotopos bajo condiciones controladas de laboratorio o en sujetos euhidratados (O'Brien y col., 2002).

Desventajas: Subestima significativamente el nivel de perdidas absolutas de fluido y se altera en forma independiente por los cambios en el volumen de fluido corporal y la tonicidad (O'Brien y col., 2002). El movimiento entre los fluidos corporales entre los compartimentos intracelular y extracelular durante el ejercicio, la sudoración, la rehidratación y otras variables comunes en las situaciones deportivas también alteran su precisión y hacen que la bioimpedancia sea inaceptable para monitorear los cambios en el estado de hidratación (Panel on DRI, 2005).

Resonancia Magnética

La resonancia magnética, aún no está validada como un estándar para la evaluación de la hidratación durante el ejercicio, sin embargo, ofrece una excelente resolución espacial de la anatomía muscular, incluyendo la capacidad de medir de forma no invasiva el volumen de los

músculos en grupo e incluso de forma individual (Hackney y col., 2012). Esta técnica se puede aplicar para estimar el agua corporal total en atletas de resistencia, bajo la teoría de que el volumen del músculo se reduce durante la deshidratación (Maughan, 2003) y que la reposición de líquidos durante el ejercicio en el calor evita la pérdida del volumen del músculo esquelético (Hackney y col., 2012). Se utiliza un aparato como el que se muestra en la Figura 7, su uso debe ser manipulado por un experto y es realmente caro e inadecuado para utilizarlo en campo.



Figura 7. Sistema de resonancia magnética

Fuente: MedScan ®

Volumen Muscular. El estudio realizado por Hackney y colaboradores, demostró con resonancia magnética que el volumen muscular más activo durante el ejercicio de resistencia en un ambiente caliente, se puede utilizar como un marcador para estimar la pérdida de agua

corporal total. Esto puede realizarse debido a que el volumen muscular disminuye por la pérdida principalmente del agua intramuscular; mientras que los músculos menos activos no cuentan con un valor significativo para la estimación (Hackney y col., 2012).

Glucógeno. El almacenamiento de glucógeno también está asociado con el almacenamiento de agua, y por lo tanto, la concentración de glucógeno muscular es directamente proporcional al agua total del músculo (Sawka y col., 2005), tomando en cuenta que por cada gramo de glucógeno hay 2.7 gramos de agua (Sherman y col., 1982) y que cada que el glucógeno es disminuido, se libera el agua que estaba unida a él (Hackney y col., 2012). De hecho se ha demostrado desde hace tiempo que el glucógeno, así como el contenido de agua en las fibras musculares del músculo activo se reducen significativamente después de 30 minutos de ciclismo exhaustivo en el calor (Hackney y col., 2012), por lo que en base a esto se podría realizar una estimación del volumen de agua intramuscular que consecuentemente es probable que pueda funcionar como una manera de estimar el agua corporal total con la resonancia magnética. Sin embargo esto sigue siendo una suposición.

Métodos Invasivos

Osmolalidad Plasmática

El punto fijo de euhidratación de la osmolalidad del plasma radica en 285 mOsm/Kg aproximadamente (Panel on DRI, 2005). El volumen del agua corporal y el agua extracelular disminuyen cuando hay una pérdida de sudor durante el ejercicio. Esto se debe a que cuando no se reemplaza el fluido perdido por medio de la ingesta de líquidos, el volumen del agua corporal y el agua extracelular son utilizados para aportar el líquido para el sudor. Esto tiene como consecuencia el aumento de la osmolalidad del plasma, porque el sudor es hipotónico en relación al plasma. En otras palabras, cuando el atleta se encuentra deshidratado, la osmolalidad del plasma aumenta (Cheuvront y Sawka, 2005).

Son varios autores que indican que esté método es el estándar de oro para evaluar el estado de hidratación, ya que provee mayor exactitud, confiabilidad y precisión que cualquier otro método de análisis bioquímico o no invasivo (Cheuvront y Sawka, 2005; Panel on DRI, 2005; Sawka y col., 2005), otorgando una medición objetiva del estado de hidratación (Armstrong, 2007). Pero, siempre y cuando se aplique en situaciones controladas (en laboratorio), en donde se mantenga estable el agua corporal total, el volumen de fluidos

corporales de los compartimentos y la concentración de fluidos extra e intra celular (Armstrong, 2007). Por ejemplo, bajo situaciones controladas se ha demostrado que la osmolalidad del plasma aumenta aproximadamente 5 mOsm/Kg por cada pérdida del 2% del peso corporal por sudoración y que la osmolalidad regresa a la normalidad durante la rehidratación (Popowski y col., 2001). Además, está demostrado que la osmolalidad aumenta aún más, durante el ejercicio prolongado y en un clima caluroso (Barr y col., 1991; Sanders y col., 2001). Sin embargo en los estudios no controlados o de campo, se observan discrepancias en los resultados de este método (Francescont y col., 1987; Armstrong y col., 1994; Grandjean y col., 2003)

Es por ello que Armstrong (2007) define de una forma más específica esta técnica: “El agua corporal total y la osmolalidad plasmática, bajo condiciones controladas en el laboratorio cuando los fluidos corporales son estables y equilibrados, representa la técnica más precisa y técnicamente disponible para evaluar el estado de hidratación en la actualidad” (Armstrong, 2007). De hecho, hay autores, con varias publicaciones con relación al ejercicio, que indican que no existe un único método de estándar de oro para evaluar el estado de hidratación, porque explican que la regulación fisiológica del agua corporal total, tanto el volumen como la concentración del fluido, es compleja, dinámica y diferente entre cada persona (Oppliger y col, 2005; Armstrong, 2005); en otras palabras, el agua corporal total, la ingesta de fluidos y la pérdida de los mismos, se encuentran cambiando de manera constante en atleta. Por ello, tanto el agua corporal total como los compartimentos de los fluidos son alterados cuando se aplica este método en campo, ya que dichos factores no son controlados como se haría en un laboratorio (Armstrong y col., 1994; Armstrong, 2007).

Dicho esto, se puede confirmar que la osmolalidad plasmática no evalúa la hidratación de forma válida en todos los entornos o situaciones en los que se ve sometido el atleta, ya que, a pesar de su alta confiabilidad cuando se aplica en laboratorio con el entorno y condiciones controladas, los resultados pueden ocasionar algunas dudas en campo (Panel on DRI, 2005; Armstrong, 2007).

Método: Consta de una toma de muestra de sangre del sujeto, que posteriormente es llevada a análisis. Se puede utilizar un osmómetro de presión de punto de congelación (Figura 5A), éste proporciona una excelente resolución y precisión de la medición (Armstrong, 2007).

Ventajas. A pesar de todas las técnicas para medir el estado e hidratación, utilizar la osmolalidad sanguínea sigue siendo el estándar de oro para estudios de laboratorio y para

evaluar el agua corporal antes de iniciar una competencia o entrenamiento (Popowski y col., 2001; Armstrong, 2005; Armstrong, 2007). Es preciso y confiable (Cheuvront y Sawka, 2005).

Desventajas. Aunque la resolución y la precisión de esta medición son señales de que es una buena medición en laboratorio, puede no ser de gran importancia o utilidad para un trabajador, un atleta o alguien que necesite estimar sus cambios en el estado de hidratación (Armstrong, 2007). Sin embargo este método requiere de una técnica invasiva, de costosos aparatos y de un personal calificado para toma de muestra. Cosa que rara vez son llevados a cabo por los mismos investigadores o coaches en el campo (Fernández y col. 2014). Además la osmolalidad del plasma no puede representar válidamente una ganancia o pérdida de agua corporal total porque esta medición está influenciada por varios factores (Armstrong, 2007). Es un indicador complejo analíticamente, costoso e invasivo (Cheuvront y Sawka, 2005)

Otros Indicadores Sanguíneos

Bajo condiciones controladas (ejercicio, temperatura, postura), la mayoría de los indicadores plasmáticos miden confiablemente los cambios en la hidratación (Armstrong, 2005). Son tres los indicadores sanguíneos, qué, además de la osmolalidad, se pueden realizar para evaluar el estado de hidratación, pero no son validados como estándar de oro y mucho menos entregan mejores resultados que la osmolalidad del plasma (Cheuvront y Sawka 2005; Armstrong, 2005). A continuación se explica brevemente estas técnicas.

Volumen plasmático. El volumen plasmático disminuye proporcionalmente con el nivel de deshidratación, pero esta magnitud del cambio es notablemente menor en los atletas aclimatizados al calor (Sawka y Coyle, 1999). Por lo que en otras palabras, no es recomendable su uso, ya que la estimación sería incierta en deportistas, incluyendo a los atletas de resistencia.

Sodio plasmático. Medir el sodio plasmático, se asemeja a la medición de la osmolalidad plasmática, en el sentido de que los cambios en la osmolalidad son principalmente el reflejo del cambio en la concentración del sodio (Hackney y col., 2012). A pesar de eso, la relación que existe entre la deshidratación y la concentración de sodio en sangre, es más variable que la de la deshidratación y la osmolalidad plasmática (Bartok y col., 2004). Sin embargo, el sodio plasmático, es muy útil al momento de descifrar algún desbalance positivo de la hidratación

(sobre-hidratación), que a fin de cuentas diagnóstica la presencia de hiponatremia (Kipps y col., 2011).

Hormonas reguladoras. Las hormonas reguladoras de fluidos, tales como la hormona antidiurética (ADH) y la aldosterona generalmente responden de manera predecible a los cambios en el volumen del fluido corporal y la osmolalidad, pero las hormonas se alteran fácilmente por el ejercicio y la aclimatación al calor (Cheuvront y Sawka, 2005), razón por la que este método no es muy utilizado.

Dilución con Isótopo

Con esta técnica, es posible medir el agua corporal total y los compartimentos del fluido corporal, es por eso que es considerado un estándar de oro (Armstrong, 2007), sin embargo, al igual que la osmolalidad plasmática, los resultados sumamente precisos y confiables se dan bajo condiciones controladas (en cuando a lo experimental, la postura, el ejercicio, la dieta, el ambiente, etc.). Situación difícil de controlar en los entrenamientos diarios donde el fluido corporal total es raramente estable y el método de dilución isotópica requiere de 3 a 5 horas para que se equilibre en el cuerpo y sea analizado (Armstrong, 2007); por lo tanto, esta técnica es poco práctica para utilizarse en campo.

Por ejemplo, en un estudio, se realizó esta técnica y la medición del peso corporal en maratonistas (21km) y ultra maratonistas (56km); se observó una pérdida significativa de agua corporal sólo en los que corrieron 56km, sin embargo el peso corporal perdido fue notorio en ambos grupos con casi 2% en los que corrieron 21km y 3.6% los de 56km, pero a pesar de eso la técnica de dilución isotópica solo encontró un déficit de agua corporal total a los ultra maratonistas (Tam y col., 2011), lo que deja en duda los resultados que brinda este método cuando se aplica en campo. A pesar de las inconsistencias en campo, Armstrong menciona que hay evidencia suficiente para considerar este método como uno de los más sustentados científicamente, basado en datos consistentes y de buena calidad, criterios de referencia y/o métodos de validación (Armstrong, 2007).

Método. Consiste en colocar un volumen y una concentración conocidos de un isótopo dentro del cuerpo, se espera cierto tiempo (4 a 5 horas) para que dicho isótopo se distribuya a través de todos los fluidos corporales, para después tomar una muestra de algún fluido, ya sea saliva, orina o sangre. Posterior a ello, se calcula el volumen desconocido, es decir, el agua

corporal total, sabiendo que una baja concentración del isótopo en la muestra significa que el volumen del fluido corporal es relativamente grande y viceversa, por medio de determinaciones espectrofotométricas (Cheuvront y Sawka, 2005; Ascensión y col., 2014). El margen de error total de la medición del agua corporal total por este método es tan bajo como el 1% (Cheuvront y Sawka, 2005), de esta manera, permite la medición de pequeños cambios en los fluidos corporales.

Ventajas. Es preciso y confiable, con una excelente resolución y considerado como el estándar de oro para la medición del agua corporal total (Cheuvront y Sawka, 2005).

Desventajas. Medir el agua corporal total por este medio se considera un indicador complejo analíticamente, costoso y requiere una línea base (Cheuvront y Sawka, 2005). Además requiere de sofisticados instrumentos de laboratorio, conocimientos técnicos y mucho tiempo para el análisis (Armstrong, 2007).

Técnicas Aplicadas en Campo

A pesar de la variedad de mediciones que existen, sólo algunas son las indicadas o adecuadas para implementar en campo. Éstos, son los métodos no invasivos, con excepción de la resonancia magnética y la bioimpedancia eléctrica. A pesar de que estas técnicas no miden el líquido intracelular o el fluido extracelular directamente, se consideran adecuadas para evaluar el estado de hidratación del atleta.

Cabe mencionar que la combinación de dos o más de estas técnicas puede proporcionar información útil y más acertado, que si se realizan por si solas (Oppliger y col., 2005). Tales métodos resultan fáciles de aplicar, son seguros, portátiles y de bajo costo (con la excepción de la osmolalidad de la orina).

Sin embargo, el mejor método de los que se puede aplicar en campo es la medición del peso corporal, ya que éste resulta ser muy rápido, simple y posee una mayor precisión en cuando al cambio en el estado de hidratación (deshidratación, euhidratación, hiperhidratación) (Armstrong, 2007), no por nada es la más utilizada en investigaciones de campo para evaluar el estado de hidratación en los atletas. En la mayoría de los contextos deportivos, el uso de la medición de la masa corporal en combinación con algunas medidas de la concentración de la primera orina de la mañana, permite una amplia sensibilidad para detectar las desviaciones

diarias de la hidratación normal (euhidratación). Además estos métodos pueden ser utilizados como el único recurso necesario para la evaluación (Cheuvront y Sawka, 2005).

Por otro lado, es importante mencionar que los indicadores del plasma, los análisis de bioimpedancia eléctrica, las mediciones por dilución isotópica y los signos y síntomas comunes de la deshidratación están frecuentemente alterados o son muy inexactos para evaluar de manera fidedigna la hidratación de los atletas al momento de la competencia (Cheuvront y Sawka, 2005). Sin desmeritar a los “estándares de oro” (osmolalidad de plasma y agua corporal total por dilución) para la evaluación de la hidratación, ya que son realmente buenos para las ciencias del deporte, la medicina o para establecer criterios de referencia; pero debido a que requieren de un control metodológico considerable, a que son costosos, y a que requieren de destreza analítica, no son de uso práctico para monitorear el estado de hidratación día a día de los atletas durante el entrenamiento o la competencia (Cheuvront y Sawka, 2005).

En la Tabla 6 se muestran los umbrales definidos para los métodos complejos y sencillos más usados, con el fin de orientar al atleta sobre el estado de hidratación (Cheuvront y Sawka, 2005).

Tabla 6. Practicidad y punto de corte de las técnicas para el estado de hidratación

Técnica de evaluación	Practicidad para el atleta	Punto de corte aceptable de euhidratación
Cambio en el agua corporal total por dilución (L)	Baja	< 2%
Osmolalidad del plasma (mOsm/kg)	Media	< 290
Gravedad específica de la orina (g/ml)	Alta	< 1.020
Osmolalidad de la orina (mOsm/kg)	Alta	< 700
Color de la orina (#)	Alta	< 4
Cambio en la masa corporal (kg)	Alta	< 1%
El balance de líquidos debe considerarse adecuado cuando la combinación de cualquiera de los resultados de evaluación es consistente con la euhidratación		

Fuente: Cheuvront y Sawka, 2005

V.- TIPOS DE BEBIDAS DURANTE EL EJERCICIO

La industria alimentaria al conocer las necesidades para la rehidratación adicionales de los deportistas, además del agua, ha desarrollado productos con diferentes valores nutricionales; algunos con contenidos de proteínas, sodio, cafeína, entre otras sustancias (Urdampilleta y col., 2015).

Bebidas Deportivas

Las bebidas deportivas se caracterizan por contener una concentración apropiada y adecuada de carbohidratos y electrolitos, además de agua, esto con la finalidad de promover el mantenimiento de la homeostasis, evitar lesiones, mantener un rendimiento óptimo y mantener un estado de hidratación adecuado durante el ejercicio (Von Duvillard y col., 2004). Ejemplos de estas bebidas son el Gatorade® y el Powerade®. Está demostrado en ambientes controlados, que el consumo de este tipo de bebidas durante el ejercicio de resistencia, hace más factible el mantenimiento de la osmolalidad sérica (Barr y col., 1991; Sanders y col., 2001), evitando, de esta manera que el agua sea secuestrada o arrastrada a través de la membrana celular del músculo.

Una bebida deportiva se considera así por su proporción óptima de sodio, de 75mg por cada 250 ml de agua (Apostu, 2014); además los carbohidratos deben ser de rápida y de lenta absorción en una proporción de 3/1 respectivamente (Urdampilleta y Gómez, 2014). Estas dos sustancias (sodio y azúcar) son las que favorecen la absorción de agua en la pared intestinal, la reposición de electrolitos en el caso del sodio, y en el caso de los azúcares, proporcionan protección para los depósitos de glucógeno convirtiéndose en una fuente activa de energía para la producción de ATP (Apostu, 2014).

Bebidas Isotónicas

La función que deben de cumplir las bebidas isotónicas, es la de hidratar y al mismo tiempo evitar la deshidratación durante el ejercicio mediante el incremento de la absorción de agua, minerales y azúcares. Las sales minerales que deben aportar, son principalmente sodio, cloro y potasio, y debe contener del 6 al 9% de azúcares (Urdampillet y col., 2015).

Las bebidas isotónicas cuentan con una concentración de carbohidratos y minerales similares a las del fluido corporal interno. Las concentraciones de sodio en este tipo de bebidas

son de 0.5-0.7 gr/L, pero puede variar de 0.7 a 1.2 gr/L si el ejercicio dura más de 1 hora en un ambiente caliente (Urdampilleta y col., 2015)

Bebidas Hipotónicas

Para entender mejor este tipo de bebidas, tenemos como ejemplo el agua. El agua es una bebida hipotónica ya que contiene una concentración demasiado baja de minerales en comparación con la concentración en el plasma. Es por ello que la ingesta excesiva de agua o bebidas hipotónicas tiende a aumentar la incidencia de presentar hiponatremia dilucional (Urdampilleta y Gómez, 2014).

Las bebidas hipotónicas tienen un contenido de hidratos de carbono y electrolitos por debajo de la concentración normal de los fluidos del cuerpo. La concentración de sodio en las bebidas deportivas consideradas ligeramente hipotónicas es de 0.5 a 0.7 gr/L y la de azúcares es de 4 a 6%; una hipotónica pura tiene menos de estas concentraciones (Maughan y Shirreffs, 2010^b).

Bebidas Hipertónicas

Las bebidas que tienen concentraciones altas principalmente de carbohidratos y electrolitos, en comparación con las que se encuentran en el fluido corporal interno, son las llamadas bebidas hipertónicas. La concentración de sodio en las bebidas deportivas hipertónicas es de 1 a 1.5 gr/L. y de azúcares es de 9 al 10% (Evans y col., 2009). En la Figura 8 se muestran cómo reaccionan las células sanguíneas ante los diferentes tipos de soluciones antes mencionadas.

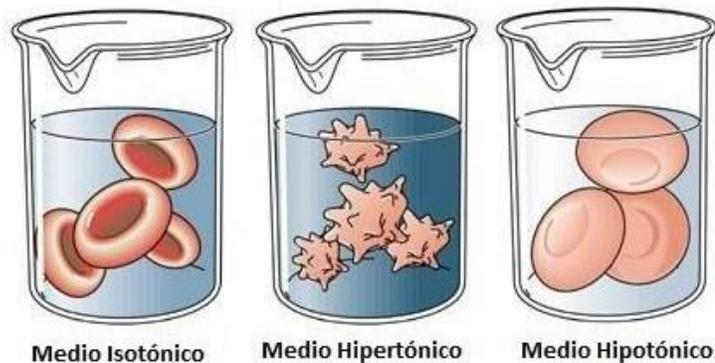


Figura 8. Diferentes tipos de soluciones o medios.

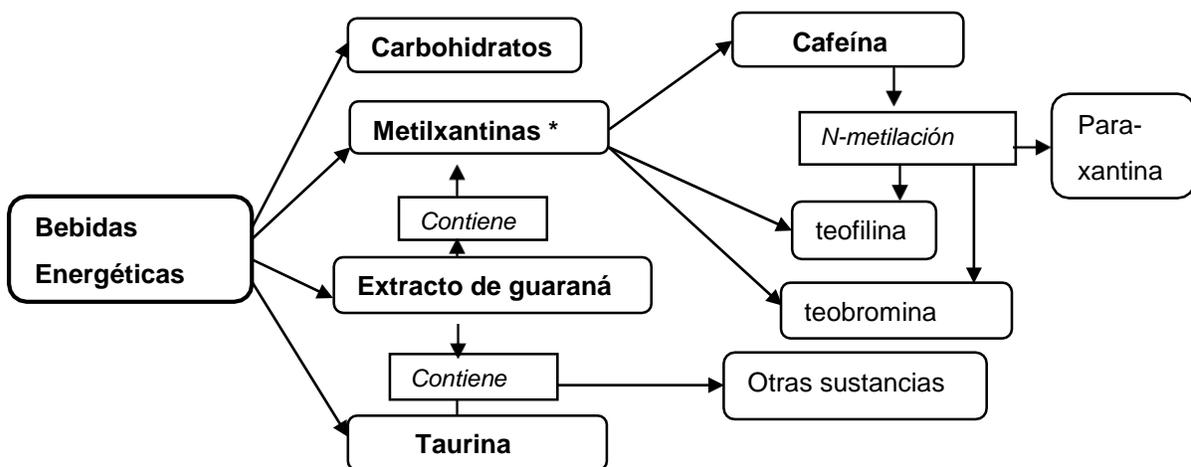
Fuente: <https://auladenaturales.files.wordpress.com/2008/11/globulos-rojos-osmosis3.jpg>

Otro Tipo de Bebidas

Bebidas Energéticas

Las bebidas energéticas, tienen características particulares con propiedades estimulantes. El consumo de este tipo de bebidas ha aumentado por parte no sólo de los deportistas, sino de la población en general debido a su fácil acceso y a sus efectos psicoactivos; y aunque no se considere una bebida hidratante por su efecto diurético, es muy utilizada por su efecto visto en el rendimiento físico y mental (Cote-Menéndez y col., 2011; Salinero y col., 2014).

Los ingredientes principales que se encuentran en las bebidas energéticas, son los carbohidratos, la taurina, extracto de guaraná y metilxantinas como la cafeína, teofilina y teobromina (Cote-Menéndez y col., 2011). De hecho, fue con la adición de carbohidratos y cafeína que surgieron las bebidas energéticas, en las bebidas que originalmente se componían de una mezcla de vitaminas en los años setentas (Cote-Menéndez y col., 2011). Siendo desde entonces, la cafeína (después de los carbohidratos), el principal componente en este tipo de bebidas, además de que se le atribuye los efectos psicoactivos que ocasiona esta bebida; por ello, se hablará como un tema aparte de las bebidas energéticas, para realizar un mayor enfoque de la suplementación en deportistas de resistencia, mientras que de los efectos y uso de carbohidratos se hablará en el capítulo 6. A continuación se presenta un esquema sobre los componentes de una bebida energética (Figura 9).



* Puede contener sólo cafeína

Figura 9. Componentes principales de una bebida energética

Fuente: Cote-Menéndez y col., 2011

Cafeína

La cafeína es un alcaloide que forma parte de las metilxantinas, se encuentra en algunas hojas, frutas y semillas, y es considerada una sustancia psicoactiva. Los alimentos con mayor contenido de cafeína son el café y el té (~100 y 30 mg en una taza respectivamente), en refrescos de cola (~ 40 mg en 330 ml) y en el chocolate (~10 mg en una taza) (Gil y col., 2008). En la Figura 10 se demuestra la estructura molecular de la cafeína. En 1970, la cafeína se popularizó entre los deportistas, por su efecto ergógeno demostrado en estudios; especialmente, la disminución de la percepción de la fatiga (Gil y col., 2008); y desde entonces ha sido aislada para suministro como suplemento (sola), o en combinación con otras sustancias como una bebida energética (Cota-Menéndez y col., 2011).

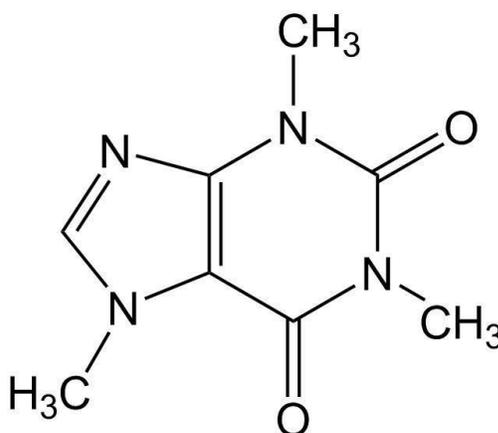


Figura 10. Estructura molecular de la cafeína

Fuente: Gil y col., 2008

La cafeína es uno de los suplementos más utilizados en deportes de resistencia. Son muchos los estudios que sustentan las mejoras en el rendimiento de estos atletas (Graham, 2001) y es por ello que el comité olímpico internacional (COI) había puesto a la cafeína en la lista de sustancias prohibidas, donde decretaba que la concentración de cafeína en la orina mayor a 12 mg/L se le consideraba dopaje; sin embargo la Agencia Mundial de Antidopaje la eliminó de esta lista en el 2004 (Jeukendrup, 2011).

Metabolismo. El 90% de la cafeína es vaciada del estómago en 20 minutos (Gil y col., 2008), del cual el 100% es absorbido y alcanza su máxima concentración plasmática rápidamente, en los 30 a 60 minutos después de que fue ingerido por vía oral con ausencia de alimentos (Cote-Menéndez y col., 2011), presentando una vida media de 3 a 5 horas (Gil y col., 2008). Es metabolizada en el hígado a través del citocromo P450, principalmente por la isoenzima CYP1A2, transformando a la cafeína por una reacción de N-metilación en paraxantina (84%), teobromina (12%) y teofilina (4%). La velocidad de esta reacción puede variar entre cada individuo por la interacción del citocromo P450 y la isoenzima (Cote-Menéndez y col., 2011). La excreción total de estas formas es vía urinaria, y sólo del 1 al 3% es excretado como cafeína (Gil y col., 2008).

Mecanismos de acción y el efecto ergógeno. El mecanismo de acción fisiológico de la cafeína se desarrolla en distintos sistemas del cuerpo, teniendo de este modo, un efecto multifactorial e interrelacionado (Gil y col., 2008), de los cuales podrían resultar ergógenos en atletas. La mayor parte de los estudios sobre el efecto ergógeno de la cafeína se han centrado en ejercicios submáximos, y han mostrado la mayor parte de las investigaciones científicas que la toma de cafeína mejora la capacidad de resistencia durante el ejercicio. Aunque no exista un consenso internacional que indique el mecanismo por el cual la cafeína aumenta el rendimiento deportivo, hay distintas investigaciones que explican su funcionamiento (Gil y col., 2008).

Sistema nervioso central. En este sistema ejerce su acción de estimulante, ya que aumenta los niveles de alerta, de atención, de concentración y mejora el estado de ánimo. Pero la acción más valorada por los atletas, es la disminución del cansancio y la disminución de la percepción del esfuerzo, otorgándoles mejoras en el rendimiento al retrasar la aparición de la fatiga (Gil y col., 2008). Ha habido propuestas respecto al mecanismo por el cual este efecto estimulante es desarrollado, una de ellas es la de fungir como un inhibidor competitivo de los receptores de adenosina en el sistema nervioso central (Sökmen y col., 2008; Jones, 2008). La adenosina, de entre tantas funciones, es un regulador de la neurotransmisión, disminuye la liberación de catecolaminas e inhibe la lipólisis; por lo tanto, la cafeína al unirse a los receptores de la adenosina aumenta la actividad celular, estimulando la secreción de serotonina en la corteza cerebral, lo que al mismo tiempo incrementa la acción del sistema simpático y disminuye la actividad de las neuronas inhibitorias (Vaugeois, 2002), estimulando de este modo la señalización neuromuscular (Jones, 2008). Mientras que el retraso de la fatiga (del 10 al 20%) en ejercicios de resistencia, se ha propuesto que se debe a la unión de la cafeína con los

receptores A2A, propios de regiones ligadas a neuronas dopaminérgicas, mediante la vía indirecta (Jones, 2008).

Músculo. En el músculo, la cafeína de manera directa, aumenta la movilización de calcio del retículo sarcoplasmático y la sensibilidad de los miofilamentos, aumentando la excitabilidad de las fibras musculares; con esto, mejora la contracción, aumenta la potencia y retrasa la aparición de la fatiga. Se propone que esta acción, está ligada al mecanismo de activación de las bombas de sodio y potasio o al grupo de ATPasas (adenosintrifosfatasas) (Jones, 2008). Hasta el momento, las razones más viables del efecto ergógeno de la cafeína son resultado de la acción directa en el músculo y la acción en el sistema nervioso central que disminuye la percepción subjetiva del esfuerzo y fatiga (Gil y col., 2008).

Metabolismo energético. Se ha observado en estudios, que la cafeína aumenta la concentración plasmáticas de ácidos grasos libres y disminuye el cociente respiratorio (Gil y col., 2008). La ventaja del incremento en la movilización de triglicéridos en ejercicios de resistencia e intensidad moderada, es la mayor disponibilidad de los ácidos grasos en plasma, preservando la utilización de los carbohidratos, aunque aún existe controversia sobre la mejora del rendimiento deportivo en base a al aumento de los ácidos grasos libres en plasma seguido del ahorro de glucógeno muscular (Burke, 2010; Gil y col., 2008). Esta acción de la cafeína podría producirse indirectamente al incrementarse las concentraciones circulantes de catecolaminas, o directamente al antagonizar a los receptores de adenosina, molécula que inhibe la lipasa y la oxidación de los ácidos grasos (Gil y col., 2008). Aunque, cuando la ingesta de cafeína, va acompañada de carbohidratos, aumenta la tasa de oxidación de los carbohidratos exógenos, debido probablemente por una mayor absorción intestinal de glucosa (Yeo y col., 2005) favoreciendo su utilización durante el ejercicio o después del mismo para la resíntesis de glucógeno (Gil y col., 2008).

Sistema cardiovascular. Aunque aún hay discrepancias, respecto al efecto de la cafeína sobre la frecuencia cardíaca en el ejercicio, está más evidenciado el efecto elevador de la presión arterial, habiendo una mayor respuesta en quienes tienen hipertensión que en las personas normotensas (Hartley y col., 2000); además parece depender del sexo, ya que en los varones el aumento de la presión arterial parece deberse a un aumento de la resistencia vascular, mientras que en las mujeres, es debido al incremento del volumen cardíaco (Hartley y col., 2004).

Sistema respiratorio. La cafeína puede estimular la broncodilatación de los alveolos y la tasa respiratoria, facilitando así, el consumo de oxígeno y ventilación, además de aumentar la tasa metabólica (Graham y Spriet, 1991), situación favorable para deportistas.

Sistema hormonal. Se ha evidenciado que la cafeína incrementa la estimulación de las catecolaminas, la betaendorfina y el cortisol, hormonas del estrés que contribuyen en la disminución de la percepción subjetiva del esfuerzo y el dolor muscular, ocasionando de esta manera un aumento en el rendimiento deportivo (O'Connor y col., 2004).

Dosis recomendada. Como dato, se ha observado que el efecto ergógeno de la cafeína es mayor cuando se ingiere en forma de suplemento, que cuando se ingiere la misma cantidad a través del consumo de café (McLellan y Bell, 2004), esto se debe presuntamente por alguna sustancia con acción antagónica sobre la cafeína presente en el café, ya que está demostrado que la ingesta de bebidas refrescantes con cafeína tiene el mismo efecto ergógeno que el consumo de suplementos de éste (Burke, 2010).

La mayoría de los estudios que han reportado los efectos ergogénicos de la cafeína, utilizaron dosis de 3 a 6mg/kg de peso corporal tomados 1 hora antes del ejercicio (Jeukendrup, 2011). Aunque otros estudios demuestran una mejora en el rendimiento con cantidades más pequeñas (de 1 a 2 mg/kg de peso corporal) especialmente durante el ejercicio de resistencia (Cox y col., 2002). Otros estudios manejan un margen de 1 a 3 mg de cafeína por kg de peso corporal para conseguir el efecto ergogénico durante el ejercicio de resistencia y con tomas durante el evento o justo antes del final (Gil y col., 2008).

Las dosis recomendadas, dependerán mucho de la tolerancia de la persona hacia la cafeína, el sexo, el nivel de intensidad del ejercicio, el peso corporal, etc. Tomando en cuenta todo esto, el rango de dosis adecuada o recomendada que se ha visto que aumente el rendimiento en atletas, minimizando los efectos secundarios están entre 1 y 9 mg/kg de peso corporal, además es importante mencionar que parece no existir una relación dosis-respuesta, por lo que significa que una dosis cada vez mayor no aumentara de manera proporcional el rendimiento, sino al contrario, puede ocasionar un efecto ergolítico. De hecho, la cafeína, aunque sea en dosis bajas, es más influyente en aquellos atletas bien entrenados que en los que no lo son (Graham y Spriet, 1991; Pasman y col., 1995), y el efecto de la cafeína es mayor en comparación con los atletas que lo consumen de forma habitual (Graham y Spriet, 1991; Pasman y col., 1995; Bell y McLellan, 2002).

Conocer además la tolerancia individual, la habituación y el momento del cese del consumo de cafeína de una persona determinada es crucial para establecer pautas correctas de su administración (Gil y col., 2008).

Efectos secundarios. Los efectos secundarios se presentan frecuentemente cuando las dosis son elevadas, síntomas como nerviosismo, dolor de cabeza, insomnio, sobreexcitación, etc., son vistos principalmente en personas que tienen una baja tolerancia a la cafeína (Gil y col., 2008). De manera general, ser consumidor habitual y el sexo masculino son factores que implican una mayor tolerancia a la cafeína (Graham y Spriet, 1991). La sobreexcitación de las neuronas puede interferir con la capacidad de recuperarse entre sesiones de entrenamiento días previos a una competencia (Burke, 2010).

Hay controversias respecto al efecto diurético que ocasiona la cafeína en dosis elevadas (300 mg/día), de hecho Maughan y colaboradores hacen mención de que es un factor a considerar en deportistas que no consumen de forma habitual la cafeína, por lo que hay que tener precaución por la posible baja en el rendimiento (Maughan y Griffin, 2003). De hecho se ha observado en ciclistas aclimatados al calor (2 horas y a 36°C), un aumento del 28% en la diuresis y un aumento del 14% en la pérdida de electrolitos con una ingesta de 6 mg de cafeína por kg de peso corporal. Sin embargo, estos efectos adversos disminuían con la ingesta de bebidas isotónicas, con excepción de carreras de muy larga distancia y no aclimatados al calor (Del Coso y col., 2009). Por lo que en otras palabras, en atletas aclimatados al calor, y con la ingesta de bebidas isotónicas durante un ejercicio de resistencia menor a 2 horas, la cafeína no tiene un efecto significativo en el aumento de la pérdida de electrolitos y el aumento de la diuresis.

La acción diurética e hipervolémica en algunas personas, ocasionadas por la cafeína, puede poner en riesgo el sistema cardiovascular, por esta razón Apostu (2014) no recomienda el uso de la cafeína o cualquier otra sustancia que pueda aumentar la diuresis (Bernardot, 2006; Apostu, 2014).

A pesar de lo anterior mencionado, respecto al efecto diurético de la cafeína, en un estudio de metanálisis se encontró que el efecto diurético se presenta cuando se está en reposo y no se presenta cuando su consumo precede de la realización de ejercicio (Zhang y col., 2014).

Los científicos del deporte observan las malas prácticas de consumo de esta sustancia por parte del atleta y/o sus involucrados en buscar la mejora del rendimiento, recomendando una ingesta elevada e ignorando los efectos adversos que puede ocasionar (Burke, 2010).

Aunque la evidencia sobre la ingesta crónica de cafeína es ambigua, no se aconseja el consumo >500 mg/día (Burke, 2010).

Glicerol

El glicerol es un metabolito de origen natural que forma la estructura base de las moléculas de triglicéridos (grasas) (Burke, 2010). En la Figura 11 se muestra su estructura molecular.

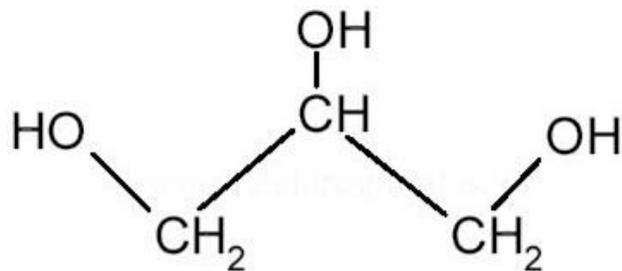


Figura 11. Estructura molecular del glicerol

Fuente: Burke, 2010

Metabolismo. El glicerol se produce de forma natural en el cuerpo como un componente de la grasa almacenada y está presente en los líquidos corporales, pero en una menor cantidad (Peniche, 2011). Sin embargo, al ser ingerido, se absorbe rápidamente y se distribuye en los compartimentos de los líquidos corporales ejerciendo una presión osmótica, pero su excreción es de forma gradual y dura de 24 a 48 horas en metabolizarse completamente a través del hígado y riñones (Burke, 2010; Peniche, 2011).

Mecanismo de acción y efecto ergógeno. El glicerol al ingerirse con líquidos, produce un efecto de concentración osmótico, ya que aumenta su concentración en sangre y tejidos, permitiendo al organismo retener temporalmente los líquidos que se consumen junto con el glicerol hasta que este sea eliminado por el organismo (Burke, 2010; Peniche, 2011). Los estudios muestran que pueden retenerse ~600ml de líquido, y que es más eficaz que el consumo de agua sola (Burke, 2010).

Termorregulación y cardiovascular. Ha habido estudios en los cuales se han demostrado los beneficios en deportistas muy entrenados, gracias al efecto del consumo del glicerol sobre el sistema de pérdida de calor corporal o termorregulación (Anderson y col., 2001; Coutts y col., 2002). Además, es muy probable de que el consumo de glicerol junto con líquidos durante el ejercicio y la rehidratación, favorezcan de forma importante la pérdida de agua corporal y la función cardiovascular (Van Rosendal y col., 2010).

Superhidrtación. El glicerol, al retener los fluidos ingeridos junto con el mismo, puede brindar una hiperhidratación o superhidratación, situación conveniente para los deportistas de resistencias que entrenan o que compiten en condiciones de calor extenuante y alta humedad; debido a que son condiciones en las que se presentan normalmente perdidas excesivas de fluidos corporales incapaces de reponerse rápidamente durante el ejercicio (Burke, 2010), previniendo de esta forma la deshidratación incluso antes, durante o después del ejercicio; los atletas más beneficiados, son en particular, los que son más susceptibles a presentar la deshidratación (Peniche, 2011; Van Rosendal y col., 2010).

Son pocos los estudios que se han realizado para estudiar el papel que juega el glicerol, a pesar de ello, la mayoría han comprobado claramente un restablecimiento más rápido y más completo del volumen plasmático en comparación con utilizar solo agua (Kavouras y col., 2006; Schett y col., 2001). Otros estudios en ciclistas, también demostraron una mejoría en el tiempo en un ambiente caluroso después de una sobrehidratación con glicerol, a diferencia del uso de una bebida control (Hitchins y col., 1999; Anderson y col., 2001).

Sin embargo, por los efectos claros evidenciados, fue que la WADA (Word antidoping Agency) incluyó al glicerol en la lista de suplementos prohibidos en el 2010 (Peniche, 2011).

Dosis recomendada. Para lograr una superhidratación, el protocolo indica un consumo de 1 a 1.5gr de glicerol por kilogramo de peso corporal con una cantidad de líquidos de 25 a 35ml por kilogramo de peso corporal 2 horas antes del evento (Peniche, 2011). Además disminuirá la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca y la percepción del esfuerzo cuando la deshidratación del 2% del peso corporal se presente en comparación con los que no ingieren glicerol (Easton y col., 2007; Beis y col., 2011; Goulet, 2010). Sin embargo, cualquier cantidad ingerida de glicerol debe ser bajo la supervisión de un científico del deporte y con experimentación apropiada durante el entrenamiento (Burke, 2010).

Efectos secundarios. Los efectos secundarios se han observado en casos individuales, donde destacan las cefaleas y los problemas gastrointestinales, especialmente cuando la ingesta del glicerol es justo después de la comida. En cuando al rendimiento deportivo, se necesitan más investigaciones para asegurar que no se ve afectado por el incremento de masa corporal debido a la retención de líquidos (Burke, 2010).

Bebidas con Creatina

La creatina, o mejor dicho, el monohidrato de creatina es el responsable de la síntesis de ATP; entre sus efectos en el organismo es la funcionar como un tamponador de protones e incrementador de la masa muscular, y disminuir la frecuencia cardiaca y la temperatura corporal durante el ejercicio, lo anterior, cuando la toma es de 20gr de creatina por día (en 500ml de agua) durante 5 a 7 días, o de 2gr/día durante 2 meses y descanso; además conviene su ingesta con carbohidratos con una proporción de 100gr/5gr de creatina, ya que se retiene 60% líquidos (Steenge y col., 2000). La estructura molecular de la creatina se observa en la Figura 12.

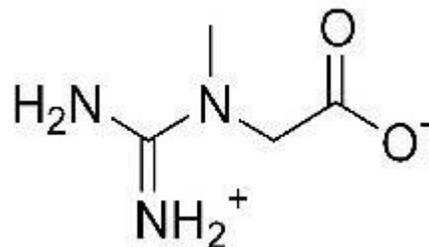


Figura 12. Estructura molecular de la creatina

Fuente: Burke, 2010

Las bebidas con contenido de creatina, pueden usarse por deportistas de resistencia como suplementación crónica en programas de entrenamiento de intervalos. Sin embargo muchos estudios demuestran que no es recomendable la suplementación de creatina en las carreras prolongadas o competencias, ya que no proporciona beneficio alguno y pueden ser perjudiciales debido al aumento de la masa corporal por la retención de líquidos (Burke, 2010).

VI.- ESTRATEGIAS DE HIDRATACIÓN

La hidratación es un factor muy importante a tomar en cuenta cuando se habla del rendimiento deportivo. Una adecuada hidratación, conforme a las necesidades de cada atleta, proporciona beneficios innegables para el rendimiento deportivo y para la salud (Urdampilleta y col., 2015).

Por lo tanto se deben de cuidar las decisiones y prácticas de hidratación en todo momento del evento deportivo o del entrenamiento prolongado, ya sea antes, durante o después de dicha actividad.

Hidratación Antes del Ejercicio

Los objetivos de llevar a cabo una hidratación adecuada antes del ejercicio es retrasar la aparición de la sed durante el mayor tiempo posible, una vez que el ejercicio ha comenzado (Goulet, 2012); y el de comenzar el ejercicio en un estado de euhidratación (Sawka y col., 2007; Jeukendrup, 2011). Los atletas deben de prestar mucha atención a su sensación de sed, ya que lo más cerca a estar hidratado es la carencia de la sed antes de iniciar el ejercicio (Casa y col., 2010).

Para asegurar una buena hidratación antes del ejercicio, es necesario primeramente conocer cuál es el peso habitual del atleta y pesarlo horas antes del ejercicio, si el atleta pesa menos significa que se encuentra en un estado de hipohidratación y debe de reponer esa pérdida mediante la ingesta de fluidos (Goulet, 2012). Comenzar un ejercicio en estado de hipohidratación o deshidratación es perjudicial para el rendimiento deportivo, en especial aquellos ejercicios aeróbicos, como los de resistencia (Goulet, 2012).

Una de las estrategias recomendadas es que el atleta beba al menos 5 a 10 mililitros por kilogramo de peso corporal, con la finalidad de producir 2 micciones antes del evento, donde el color de la orina sea amarillo pálido (del 1 al 3 en el índice de orina de Armstrong y col., 1998) con esto se asegura que el peso corporal del atleta tenga un margen mínimo del estado de hidratación ($\pm 1\%$) (Burke, 2010). De esta forma, también se asegurará una osmolalidad plasmática normal, situación que favorecerá a la inhibición de la sensación de sed (Casa y col., 2010). Otra recomendación acerca de lo mismo, es la que señala Sawka y colaboradores (2007), donde mencionan que se debe beber de 5 a 7ml/kg de peso corporal 4 horas antes del ejercicio; monitorear las micciones y el color de la orina; si la orina es oscura o si el atleta no puede orinar, debería añadirse 3 a 5 ml/kg de peso corporal más, las últimas 2 horas antes del ejercicio (Sawka y col., 2007). Por ejemplo, un atleta con un peso de 75 kg deberá de beber

entre 375 ml a 525 ml cuatro horas antes del evento, y de ser necesario beber de 225 a 375 ml más 2 horas antes del evento. Urdampilleta y Gómez (2014) agregan que, si el día es muy caluroso, el atleta deberá de asegurar una toma de 500 ml la última hora antes del ejercicio, donde la bebida sea preferentemente isotónica y con una concentración de 0.5-0.7 gr. de sodio por litro y del 4 al 6% de azúcares (Urdampilleta y Gómez, 2014). Se debe procurar evitar una gran ingesta de fluidos por la noche, debido a que pueden estimular la diuresis por la noche y de esta forma interrumpirán el sueño y la recuperación del atleta (Bernardot, 2000).

Goulet en investigaciones (2012) demostró que la estrategia de hiperhidratación antes de la competencia utilizando 26 ml de agua /kg de peso corporal y con 130 mmol de sodio por litro produce retención de líquidos, suprimiendo los efectos de la sed durante un largo tiempo después de iniciado el ejercicio (Goulet, 2012). En base a este estudio se considera la hiperhidratación antes del ejercicio como una estrategia adecuada para evitar la pronta deshidratación durante el ejercicio. Así, un equilibrio fluido-electrolito y la adecuada cantidad de la bebida ingerida antes del evento, son fundamentales para evitar aumentar el riesgo de hiponatremia en plena competencia debido a una sobre ingesta (Noakes, 2007). Es por ello la importancia de la participación de un profesional que monitoree las situaciones de riesgo por las que puede atravesar un atleta con respecto a una inadecuada hidratación y que puede repercutir directamente en el rendimiento.

Otros estudios confirmaron que la hidratación controlada mediante la ingesta de fluidos antes del evento durante ese mismo día produce: a) un aumento en el rendimiento del 6 al 7%, b) un aumento en la función cardiovascular del 2% y c) un límite de deshidratación del 3%. Estos experimentos fueron realizados por Montain y Coyle en 1992 y por Maughan en 1996, cuando evaluaron las respuestas fisiológicas de atletas al ingerir entre 2.7 a 4.6 litros de fluidos en el día anterior al ejercicio, así como 500 ml dos horas antes de empezar (Apostu, 2014).

Otros investigadores como Burke (2007) propusieron una recomendación muy general como pauta de la ingesta de fluidos justo antes de un evento de resistencia. Esta recomendación consiste en que los atletas deben tolerar bolos de líquido de 5 ml por kilogramo de peso corporal (~300 a 400 ml) inmediatamente antes del inicio de la carrera.

Es importante mencionar que cada atleta, junto con su equipo de entrenamiento deberá de experimentar consigo mismo los beneficios y la respuesta personal ante las diferentes recomendaciones que brindan los estudios. Para así determinar el volumen de fluidos ideal para el atleta en particular con el que se cumplan las expectativas de hidratación, acelere el vaciado gástrico sin ocasionar malestar estomacal, y se mejore el rendimiento físico. Y cualquiera que sea la técnica o estrategia a utilizar, siempre se debe de buscar tener el mejor estado de

hidratación, en este caso antes del ejercicio, para limitar la aparición de la pronta deshidratación y mantener el nivel del agua corporal en un equilibrio saludable y apropiado para las funciones y rendimiento del atleta (Apostu, 2014).

Suplementos Antes de la Actividad Física

Algunos científicos del deporte, hacen uso de suplementos o complementos antes de los entrenamientos y/o competencias con la finalidad de mejorar el rendimiento del atleta y evitar los efectos de la deshidratación. A continuación se mencionarán los más utilizados antes del ejercicio de resistencia.

Glicerol. Como se ha discutido en el capítulo anterior, los atletas hacen uso del glicerol antes del ejercicio para favorecer la retención de líquidos, efectuando la práctica de superhidratación o hiperhidratación. Esta práctica puede presentar beneficios importantes para el atleta durante el ejercicio cuando ocurre una pérdida de peso corporal del 2% por deshidratación, como en el caso del ejercicio de resistencia (Peniche, 2011). El uso del glicerol puede reducir el déficit global de líquido en carreras durante ambientes calurosos, en los cuales resulta imposible reponer las pérdidas por la sudoración durante el evento, tales como triatlones, ciclismo de larga distancia, o pedestrisimo (Burke, 2010).

El Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) recomienda la ingesta de 1 gramo de glicerol por kilogramo de peso corporal (1gr/kg) antes del ejercicio, para aumentar la capacidad del esfuerzo físico durante el ejercicio a altas temperaturas (ACSM, 2007), por ejemplo un atleta de 70 kg deberá consumir 70 gramos de glicerol para el efecto ergógeno.

Cafeína. Los efectos en el organismo de la cafeína se discutieron en el capítulo 5, sin embargo en este apartado se hablará sobre las ventajas en atletas específicamente cuando se ingiere antes del ejercicio de resistencia; por ejemplo, Bell y McLellan demostraron que una ingesta de 5mg/kg de peso de cafeína 1-3 horas antes del ejercicio produce un efecto ergogénico retrasando la fatiga. Estos datos se obtuvieron a partir de pruebas de resistencia hasta el agotamiento en consumidores habituales de cafeína y consumidores no habituales, también demostraron que la ingesta a las 6 horas antes del ejercicio no proporciona efecto ergogénico en el primer tipo de consumidores (Bell y McLellan, 2002). Otro ejemplo es el experimento de Conway y colaboradores, donde demostraron que una sola ingesta de 6mg/kg de peso de cafeína tiene el mismo efecto ergógeno que la misma cantidad de cafeína pero

dividida en dos tomas de 3mg/kg de peso, una antes del ejercicio y otra durante, en una prueba de pedaleo por 90 minutos seguido de una prueba de tiempo (Conway y col., 2003). En base a esto, se puede recomendar una sola ingesta de cafeína antes del ejercicio dentro de las 3 horas antes de la competición. De hecho, Sökmen y colaboradores, recomiendan que si la actividad a realizar requiere de potencia y/o velocidad, se consuma 3 horas antes, mientras que si se trata de una actividad o ejercicio de resistencia, se consuma 1 hora antes (Sökmen y col., 2008).

Quizás el motivo por el cual no se vio una diferencia significativa en el experimento de Conway y colaboradores (2003), es debido a que la absorción de la cafeína se da dentro de 30 a 60 minutos, y la vida media está dentro de 3 a 5 horas, lo que da un amplio margen de tiempo en el que la respuesta de la primera dosis de cafeína se encuentra haciendo efecto, y una segunda dosis en este margen de tiempo no ocasionará mayor efecto, recordando que no se ha demostrado un efecto de dosis-respuesta de la cafeína. Por lo tanto, una estrategia eficaz para aprovechar el efecto ergógeno que ocasiona este alcaloide, según Jeukendrup (2011), es la de ingerir una primera dosis de 3 mg/kg de peso 1 hora antes del ejercicio y continuar con la ingesta de 1 mg/kg de peso cada 2 horas después de la primera toma. Por ejemplo un atleta que pese 70 kg deberá ingerir 210 mg de cafeína en la primera toma y después 70 mg cada 2 horas, durante el ejercicio.

Una estrategia muy utilizada por los deportistas que ingieren habitualmente la cafeína en su dieta, es la de interrumpir de forma brusca su consumo días antes de una competencia e inician de nuevo su ingesta el mismo día de la competencia, con la finalidad de buscar un efecto ergógeno mayor, como los que presentan aquellos que habitualmente no consumen cafeína (Bell y McLellan ,2002). Sin embargo, realizar esta práctica puede ocasionar efectos secundarios de la deshabitación, como son, dolor de cabeza, irritabilidad, fatiga, dificultad para concentrarse, etc. Por lo tanto, lo mejor es disminuir las dosis de forma gradual (Sökmen y col., 2008).

A pesar de las ventajas de la suplementación con cafeína, los datos indican también que este alcaloide, produce un efecto de deshidratación, debido a que aumenta la diuresis y aumenta la pérdida de electrolitos por el sudor; esto se demostró en un estudio en ciclistas aclimatados al calor (durante 2 hr a 36 °C); sin embargo en este mismo estudio, se comprobó una disminución de estos efectos negativos cuando se ingería junto con una bebida isotónica (Del Coso y col., 2009). Por lo tanto si se piensa utilizar la cafeína en carreras de muy larga distancia, se recomienda que se acompañe con bebidas isotónicas para prevenir la deshidratación.

Hidratación Durante el Ejercicio

Una ingesta de líquidos adecuada, con el fin de fomentar una buena hidratación durante el ejercicio, es de gran importancia, sobre todo la implementación de estrategias óptimas para los atletas que llevan a cabo sesiones de entrenamiento o competencias por tiempo prolongado (de resistencia) (Von Duvillard y col., 2004). Una correcta ingesta de líquidos durante el evento de resistencia ayudará a mantener la temperatura corporal, mantener el volumen plasmático adecuado y a evitar la deshidratación (Von Duvillard y col., 2004).

Por otra parte, cuando el ejercicio que realiza el atleta dura menos de 1 hora, el consumo de agua puede ser suficiente para rehidratarse (Apostu, 2014), ya que se estima que durante este tiempo en un ambiente templado, se presenta una deshidratación de solo el 1% o menos (Maughan y col., 2009); sin embargo recordemos que no todos los atletas tienen la misma tasa de sudoración, es por ello que, para garantizar una reposición hídrica adecuada, se recomienda la ingesta de bebidas isotónicas (Maughan y col., 2009), de preferencia 150 a 200 ml cada 15 a 20 minutos (Urdampilleta y Gómez, 2014). Sin embargo, cuando el ejercicio que realiza el atleta dura más de 1 hora, incluir la ingesta de bebidas deportivas durante este evento es crucial para evitar la alteración en las concentraciones de electrolitos que ocasiona la ingesta de sólo agua en estas circunstancias (Apostu, 2014).

Cuando se trata de una carrera de ultra resistencia y un ambiente caluroso, la concentración de sodio en las bebidas deportivas debe de ser de 0.7 hasta 1.2 gramos por cada litro, esto con la finalidad de estar reponiendo las mayores pérdidas de electrolitos y sudor que se dan en este tipo de evento donde su duración es mayor de 3 horas (triatlones, ultra maratonnes, ironman, etc.) (Urdampilleta y Gómez, 2014; ACSM, 2007).

Antes se pensaba que el atleta debía de beber tanto como le fuera posible durante el ejercicio para evitar la deshidratación, sin embargo ahora se sabe que la ingesta de bebidas durante el ejercicio se debe de mantener por debajo de la tasa de sudoración (Burke, 2010); incluso el Colegio Americano de la Medicina Deportiva (ACSM) señala que la ingesta de bebidas se debe efectuar de acuerdo a los dictados de la sed, siempre y cuando la pérdida del peso corporal del atleta no supere el 2% (Sawka y col., 2007).

Por otro lado, la Asociación de Directores Médicos del Maratón Internacional proponen que los atletas deben de beber sólo cuando sientan sed, independientemente del peso perdido, pero que la ingesta no pase de 800 mililitros por hora, esto con la finalidad de evitar la hiponatremia asociada con el ejercicio (Hew-Butler y col., 2006); sin embargo esta última pauta sólo menciona la prevención de una sobre ingesta de fluidos y no se centra en la prevención de

los efectos de una deshidratación, tampoco en las estrategias para mejorar el rendimiento del atleta.

En las competencias se busca mejorar el rendimiento del atleta sin poner en riesgo su salud, y cuando se trata de competencias de larga duración, una mala práctica de hidratación ocasiona déficit del rendimiento y deshidratación. Una manera de evitarlo es ingiriendo bebidas en cantidades que el atleta necesite y lo que su equipo profesional le dicte, previniendo una deshidratación igual o mayor al 2% (Cheuvront y col., 2003).

Claro está, que las necesidades hídricas dependerán tanto del estrés térmico como la intensidad de la actividad; pero de manera general, se debería de cubrir una ingesta de 0.7 a 1 litro por hora de bebida isotónica durante el ejercicio (ADA, Dietetians of Canadá y ACSM, 2009; Urdampilleta y col., 2013); aunque también se han indicado tomas de 0.8 a 1.5 litros por hora (Urdampilleta y Gómez, 2014); en cuando a la frecuencia de la ingesta de fluidos, debe ser cada 15-20 minutos (Urdampilleta y col, 2013), y la concentración de sodio debe ser de 0.5 a 0.7 gramos por litro en competencias de duración de 2 a 3 horas y de 0.7 a 1.2 gramos cuando es mayor a 3 horas (ACSM, 2007)

Suplementos Durante la Actividad

Proteínas. Algunas investigaciones afirman que para mejorar la recuperación muscular del atleta, durante una carrera de ultra resistencia, la toma de hidrolizado de proteínas de rápida absorción (2-4%) pueden ser eficaz para ello (Witard y col., 2011). Sin embargo esta estrategia no es muy relevante entre las competencias o al menos en los estudios sobre el ejercicio de resistencia (aeróbico).

Hidratación Después del Ejercicio

El principal objetivo de la hidratación después del ejercicio, es el de restablecer los niveles de agua y electrolitos perdidos, así como la recuperación total del atleta (Shirreffs, 2009).

Lo que comúnmente utilizan los atletas al terminar los entrenamientos o competencias de resistencia son las bebidas hipertónicas, ya que juegan un papel fundamental en la retención de agua, aumentando la sed y disminuyendo la diuresis que ocasiona un consumo de agua sola (Shirreffs y Sawka, 2011; Evans y col., 2009), además, una recomendación al respecto, es ingerir las primeras 6 horas después del ejercicio el 150% de la pérdida de peso como mínimo, es decir, 1.5 litros por kilogramo de peso perdido, con una concentración de 1 a 1.5 gramos de

sodio por litro, lo anterior es con el fin de superar la pérdida de agua corporal ocasionado en la competencia de manera gradual y segura (Evans y col., 2009; Apostu, 2014).

Si el nivel de deshidratación ha sido mayor del 2% del peso corporal, se deberá ingerir líquidos, aunque no haya presencia de sed y aportar más sodio, se pueden incluir alimentos salados (Urdampilleta y Gómez, 2014)

Cuando el nivel de deshidratación ha sobrepasado el 5% del peso corporal, será necesario una planificación mas estructurada, para recuperar los electrolitos perdidos y restablecer el nivel de hidratación dentro de las 24 horas (Shirreffs y Sawka, 2011).

Es muy importante que las características de las bebidas sean las adecuadas no solo en las concentraciones de electrolitos y azúcares, sino también en el sabor, el aroma y la temperatura, para que el atleta lleve a cabo las estrategias de hidratación adecuadas sin impedimento (Apostu, 2014). Por lo tanto, las bebidas deben de tener buen sabor, agradable aroma y una temperatura de entre 10 y 20 °C (Burke, 2010)

Suplementación Después de la Actividad

Proteínas. Se ha visto que beber proteína hidrolizada junto con carbohidratos en una proporción de 1/3-4 respectivamente, ayuda en la recuperación del glucógeno muscular aún más, que si se tomara solo los carbohidratos (Urdampilleta y col., 2012). También se puede suplementar con aminoácidos ramificados, estos realizan un efecto similar y además mejoran el sistema inmunológico (Negro y col., 2008).

La Hidratación en Diferentes Tipos de Ambientes

Ambiente Caliente

En este tipo de ambiente la temperatura corporal tiende a incrementarse más rápido y el cuerpo reacciona ante esta situación con un incremento en la tasa de sudoración (Baillot y Hue, 2015), por lo que la pérdida de sodio y electrolitos es mayor a que si se realiza el ejercicio en un ambiente templado. Esto quiere decir, que las cantidades de fluidos a ingerir, deben ser mayores antes, durante y después del ejercicio en comparación con las estrategias de hidratación en un clima templado.

A pesar de que hay investigaciones que dicen que la hiperhidratación puede reducir la tensión térmica y por ende la deshidratación durante el ejercicio, aún no se ha confirmado al

cien por ciento este efecto en un climas calurosos, pero tampoco queda descartado (Wendt y col., 2007).

Urdampilleta y Gómez recomiendan en ambientes calurosos, asegurar una ingesta de 500 mililitros justo una hora antes de la competencia y durante la misma beber cada 15-20 minutos bolos de fluidos de 150 a 250 ml. con una concentración de sodio de 0.7 a 1 gramo por litro (Urdampilleta y Gómez, 2014).

Es recomendable que el atleta lleve a cabo un programa de aclimatización entre 7 y 14 días antes de la competencia, esta estrategia le permitirá mejorar su función cardiovascular gracias a un incremento que se da en el volumen plasmático y a una reducción de la frecuencia cardiaca, además mejorará la pérdida de calor por medio del incremento en la tasa de sudoración y vasodilatación cutánea (Armstrong y Maresh., 1991).

La estrategia de la aclimatación previa a eventos de resistencia en condiciones climáticas calurosas consta de realizar ejercicios de entrenamiento de 3 a 5 días a la semana en un ambiente con temperaturas entre 25 y 35°C a un VO₂max del 60 al 75% con una duración de 1 a 2 horas por sesión (Moran y col., 2003)

Se recomienda añadir cubitos de hielo a las bebidas para mantener la temperatura idónea y favorecer la palatabilidad y ganas de beber (Burke, 2010).

Por último, es importante recalcar que a una mayor necesidad de hidratación menor debe ser la concentración de carbohidratos (4 a 6%) y mayor la de sales minerales (0.7 a 1 gr/l). De este modo evitamos estados de hiponatremia. (Urdampilleta y col., 2013).

Ambiente Frío

Al igual que en un ambiente caliente, es recomendable llevar a cabo un programa de aclimatización. Sin embargo puede ser más lenta y/o arriesgada para la salud en aquellos atletas que provengan de lugares cálidos (Urdampilleta y col., 2013).

Los beneficios de una aclimatización al frío provienen de la disminución de la vasoconstricción cutánea, que intensifica la circulación sanguínea periférica disminuyendo menos la temperatura muscular y cutánea, situación que da al atleta en estas condiciones mayor coordinación, fuerza, velocidad y resistencia (Urdampilleta y col., 2013). No se encuentran muchas referencias respecto a este tema en particular, pero se ha observado en nadadores de invierno que la aclimatización puede reducir el umbral termorregulatorio para la inducción de la termogénesis y retrasa la respuesta del temblor (Vybiral y col., 2000). Es necesario exponer al cuerpo entero al frío para conseguir esta adaptación (Janský y col., 2006)

El frío induce la diuresis a través del incremento en el volumen sanguíneo central causado por la vasodilatación periférica y esta misma diuresis favorecerá la pérdida de fluidos. Además como los atletas utilizan más ropa, dificultan el proceso de transpiración pudiendo llegar a tasas de sudoración de 2 litros por hora (Kechijan, 2011).

La deshidratación en este tipo de ambiente disminuye el rendimiento físico y puede ser un riesgo para la salud cuando se realiza ejercicio por debajo del estrés térmico (Murray, 2007). Por ejemplo, en el alpinismo (disciplina caracterizada por ascensiones a las montañas con duración de largas horas e incluso días), cuando la temperatura ambiental es próxima a los 0°C, la temperatura corporal disminuye hasta 35 °C ocasionando hiponatremia y/o congelamiento parcial de las extremidades debido a la vasoconstricción periférica, en la cual la irrigación sanguínea se reduce para mantener los órganos vitales esto a consecuencia del frío extremo, la altitud y el aire libre en conjunto con la deshidratación (Cheung y col., 2000).

Las estrategias utilizadas en estas condiciones además de mantenerse hidratado para evitar congelaciones, es la de la protección contra el frío haciendo uso de vestimenta adecuada; sin embargo en fríos extremos la regularización de los mecanismo de homeotermia se convierte en todo un reto para el organismo del atleta (Cheung y col., 2000), y su desempeño dependerá de sus capacidades termorreguladoras, entrenamiento, aclimatización y estado de hidratación.

Ambiente Húmedo

En este tipo de ambiente, los criterios de hidratación son iguales a los del ambiente caluroso (Urdampilleta y col., 2013); con un poco de más consideración en el aspecto de que durante la humedad es más difícil que el cuerpo pierda calor por medio de la evaporación a diferencia de los ambientes calurosos (Morales, 2006).

Debido a la alta humedad que hay en el ambiente, la sudoración por parte del atleta resulta ineficiente, ya que no permite la pérdida de calor y el atleta tiende a deshidratarse cada vez más conforme avanza el ejercicio de resistencia en corredores (Kenefick y col., 2007). Por otro lado, en ciclistas es más difícil que la deshidratación afecte el rendimiento (Saunders y col., 2005), debido a que estos atletas tienden a perder gran parte del calor por medio de la convección; además la capacidad de evaporación no se verá afectada si trabajan a una velocidad constante, aún en ambientes calientes o húmedos (excepto en humedad extrema) (Hue y col., 2006).

En eventos de natación, donde la humedad relativa es alta (de 65 a 68%) y la temperatura del agua normalmente está por debajo de la temperatura corporal, la deshidratación no se

presenta comúnmente debido a que se pierde aproximadamente de 0.5 a 1 litro de agua por hora, lo cual es fácil compensar con el uso de bebidas isotónicas (Maughan y col., 2009), sin embargo, cuando el atleta se somete a competencias por periodos de 2 a 3 horas continuas, puede perder de 1 hasta 2.5% del peso corporal total (Soler y col., 2003), un atleta que pese 70 kg puede perder de 0.7 kg a 1.75 kg. De hecho se ha visto que en un clima tropical, el rendimiento aeróbico puede verse afectado por este medio ambiente (Voltaire y col., 2003). En ambiente húmedo los atletas tienden a deshidratarse por la ineficiencia de la pérdida de calor corporal por medio de la sudoración (Maughan y col., 2012) afectando de ese modo el rendimiento en la resistencia (Cheuvront y col., 2010).

El Rol de los Carbohidratos en la Hidratación

Se ha demostrado que existe una relación de mejora en el rendimiento deportivo mediante la ingesta de 30 a 90 gramos de azúcares por hora a través de la ingesta de bebidas (Burke y col., 2011); de hecho, algunos estudios indican que con el simple hecho de que estas bebidas toquen la cavidad oral, es suficiente para enviar señales que están ligados con la mejora del rendimiento en el cerebro, específicamente en la corteza anterior del cíngulo y el núcleo caudado del sistema límbico (Jeukendrup y col., 2013); observe en Figura 13.

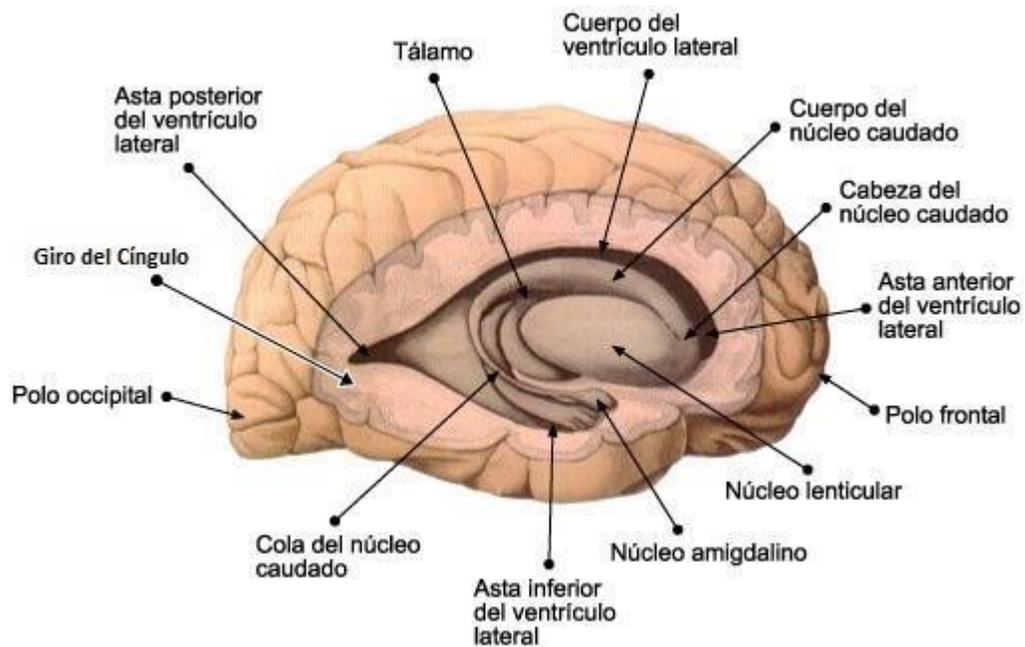


Figura 13. Corte anatómico del sistema límbico del cerebro

Fuente: <http://neuroanatomia.info/cerebro.html>

De hecho, para que una bebida se considere adecuada para deportistas, es necesario que contenga carbohidratos (Urdampilleta y Gómez, 2014), pero siempre se debe de cuidar la concentración de este o bien, la cantidad de carbohidratos que se ingiera; esto dependerá del tiempo y la intensidad en que realice el ejercicio el atleta. Una sobre ingesta de carbohidratos puede llegar a ocasionar malestar gastrointestinal (Pfeiffer y col., 2012).

Absorción

Anteriormente se ha mencionado la temperatura en la que es más apetecible la bebida, pero cabe añadir, que dicha temperatura mejora la absorción de fluidos y azúcares, sobretodo porque una bebida que esté por debajo de 10°C enlentecen la absorción (Burke, 2010), esto es debido a que la bebida tarda aproximadamente 5 minutos en aumentar su temperatura en el estómago para comenzar a vaciarse hacia el duodeno (Martínez y col., 2005)

Las cantidades óptimas para la absorción intestinal son de 600 a 800 mililitros de agua por hora con 60 g glucosa (Rehrer, 2001) y hasta 90 gramos de maltodextrina o fructosa (Murray, 2007); siempre y cuando la bebida contenga cantidades no mayores del 20 a 30% de fructosa para evitar problemas gastrointestinales debido a que se ha comprobado que este carbohidrato se oxida a tasas menores que la glucosa y por lo mismo se mantiene por más tiempo en el tracto gastrointestinal (Urdampilleta y Gómez, 2014; Jeukendrup, 2013).

Las guías de ACSM, mencionan que independientemente del tipo de carbohidrato, la tasa de oxidación no supera 1gr por minuto, lo que significa que una cantidad de más de 60 gr/hr de un carbohidrato no representará una mayor absorción. De ahí que se recomiende como referencia una ingesta máxima de 60 gramos de carbohidrato por hora (Sawka y col., 2007) o de 0.7 gr por kilogramo de peso por hora (Rodríguez y col., 2009) que para un individuo de 70 kg representaría 49 gr. Sin embargo, se debe ser cauteloso, ya que la tasa de oxidación de carbohidratos puede aumentar, la razón es por el uso de distintos carbohidratos en una misma bebida. Por ejemplo, si se combina la ingesta de glucosa y fructosa, se podrán absorber al mismo tiempo, aumentando de esta manera la tasa de oxidación hasta un 75% gracias a que esos azúcares utilizan diferente transportador para su absorción como se puede ver en la Figura 14 (Jeukendrup, 2011).

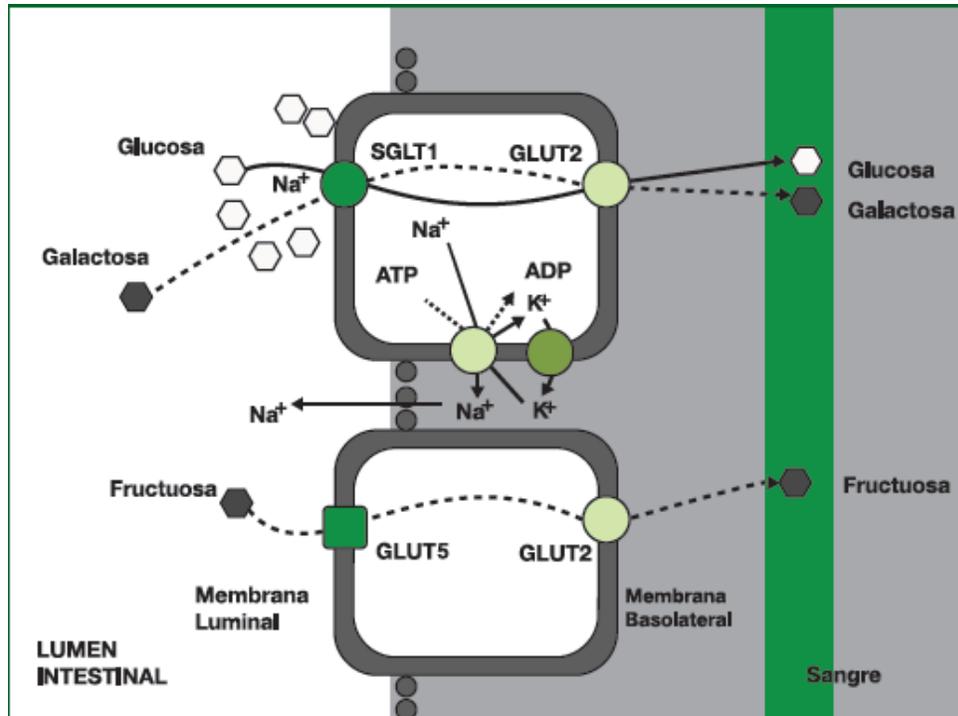


Figura 14. Mecanismos de absorción de diferentes azúcares
Fuente: Jeukendrup, 2013

Antes del Ejercicio

Normalmente los ejercicios prolongados, mayores a 90 minutos de duración, limitan los niveles de glucógeno muscular en el atleta. Por lo tanto el atleta debe de tener un depósito de glucógeno adecuado al menos 12 o 36 horas antes del evento (Burke, 2010).

En un atleta promedio, del 10 al 12% del peso del hígado (60-100 gramos en total) y del 1 al 1.5% (entre 300 a 500 gramos, según la hipertrofia muscular del atleta) del peso en músculos es glucógeno (Iglesias y col., 2011). Para evitar un vaciamiento de estas reservas de glucógeno antes de lo esperado durante el evento, se recomienda realizar una supercompensación de las reservas de glucógeno antes del evento, lo que se le conoce también como carga de carbohidratos (Burke, 2010).

Los mecanismos aceptados que explican la mejora en el rendimiento por la supercompensación de carbohidratos son la prevención de la hipoglucemia, el ahorro del glucógeno hepático y muscular, y la provisión adicional energética (Jeukendrup, 2011). Es por ello que esta práctica es considerada una estrategia nutricional para el atleta.

Carga de Carbohidratos. Incrementar la ingesta de carbohidratos días antes o incluso horas antes de la competencia, asegurará un nivel de glucógeno muscular alto, situación que eleva el rendimiento físico de un 2 a 3% en eventos con una duración mayor a 90 minutos (Jeukendrup, 2011). Algunos atletas llevan a cabo una fase de descompensación de carbohidratos antes de la supercompensación de los mismos, sin embargo está demostrado que esta práctica (descompensación) no es necesaria en atletas bien entrenados (Burke y col., 2011).

La cantidad de carbohidratos a ingerir para llevar a cabo la carga de carbohidratos varía entre 5 a 12 g/kg de peso corporal por día pero dependerá en absoluto de la duración e intensidad que lleve a cabo el atleta durante la competencia (Jeukendrup, 2011). Cabe señalar que una ingesta de carbohidratos mayor a la necesaria puede jugar un rol negativo en el rendimiento del atleta (Coyle y col., 2001).

Por otro lado, algunos estudios demuestran que una ingesta de carbohidratos justo antes del evento (<60 min) puede mejorar el rendimiento del atleta o en el peor de los casos no presentar ningún cambio, independientemente de que se presente o no un rebote hipoglucémico durante el evento (Jeukendrup y killer, 2011).

En ejercicios de resistencia se recomienda que la ingesta de carbohidratos una hora antes del ejercicio sea de bajo índice glucémico, esto con la finalidad de evitar un rebote hipoglucémico y de otorgar una respuesta más estable de glucosa e insulina en sangre durante el ejercicio (Jentjens y Jeukendrup, 2003).

A pesar de la evidencia, cuando la intención es consumir carbohidratos una hora antes de la competencia, la cantidad a ingerir más recomendable es de 6 al 10% en una bebida de 300 a 500 ml 15 minutos antes del evento de resistencia (Steenge y col., 2000; ADA, Dietitians of Canadá y ACSM, 2009; Jeukendrup, 2011). Por ejemplo, el atleta deberá beber una bebida de 500 ml que contenga de 30 a 50 gr de carbohidratos 15 minutos antes del ejercicio.

Carbohidratos Durante el Ejercicio

Los beneficios de la ingesta de carbohidratos durante los eventos de resistencia están bien documentados, entre los cuales están: la recuperación y utilización de la glucosa como sustrato energético, efectos positivos a nivel neuronal, mejora la absorción de agua y favorece en la rehidratación (Burke, 2010). Además ayuda a retener la creatina por más tiempo, es decir, evitará el pronto desgaste de esta sustancia con lo cual ayudará a mantener la frecuencia

cardiaca y la temperatura corporal (Steenge y col., 2000; ADA, Dietitians of Canadá y ACSM, 2007).

La ingesta de carbohidratos durante el ejercicio de resistencia se da por medio de bebidas, conocidas como bebidas deportivas. Las bebidas a consumir pueden contener una concentración variada de carbohidratos (normalmente de 4 a 8%) dependiendo de la prioridad del atleta, si es la de rehidratarse o la de recargar combustible energético (Burke, 2010); incrementando la cantidad de carbohidratos en las bebidas aumentará la disponibilidad de combustible, pero disminuirá de manera proporcional la velocidad de la disponibilidad del agua debido a que aumenta la densidad energética de la bebida (Martínez y col., 2005).

Los tipos de carbohidratos ideales y la concentración de los mismos en las bebidas deportivas, dependerá en su mayoría de las características y circunstancias del atleta, ya que se ha visto que una alta cantidad, puede retrasar el vaciado gástrico y ocasionar problemas gastrointestinales (Shirreffs, 2009). Es por ello que los atletas que con una mayor capacidad de tolerar altas dosis de carbohidratos son los que logran un mayor rendimiento (Jeukendrup, 2013).

Cuando el ejercicio es a una alta intensidad (>75% VO₂max) y con una duración de ~1 hora, el efecto ergogénico de los carbohidratos ingeridos en este tipo de actividad reside en el sistema nervioso central. Por otro lado, cuando el ejercicio dura más de 2 horas el efecto positivo de los carbohidratos en el organismo es principalmente proveniente del proceso metabólico de estos (Jeukendrup, 2011). Pero en ambas situaciones, se ha demostrado una mejora en el rendimiento (Jeukendrup, 2010). A continuación se muestra la Tabla 7 con la cantidad recomendada de carbohidratos a ingerir durante diferente duración del ejercicio.

Como se muestra en la Tabla 7, en ejercicios más prolongados se utilizan más carbohidratos, en estas condiciones, la ingesta de carbohidratos se vuelve como un combustible esencial (Jeukendrup, 2011). Sin embargo algunos autores consideran una ingesta no más de 90 gramos por hora, incluso en competiciones de ultraresistencia, debido a las molestias gastrointestinales (Jeukendrup, 2011).

Tabla 7. Cantidad recomendada de carbohidrato a ingerir durante diferente duración del ejercicio

Duración	Ingesta recomendada	Tipo de Carbohidrato	Carbohidrato simple	Carbohidratos de transporte múltiple
< 30 min	Ninguna	-	-	-
30- 75 min	Enjuague bucal	La mayoría de las formas	Ideal	Ideal
1-2 h	Más de 30 g/hr.	La mayoría de las formas	Ideal	Ideal
2-3 h	Más de 60 g/hr	De rápida oxidación	Aceptable	Ideal
>2.5 h	Más de 90 g/hr	Carbohidratos de transporte múltiple	-	Ideal

Fuente: Jeukendrup, 2011

Cabe destacar que lo ideal es incluir en la bebida del atleta carbohidratos de transporte múltiple (combinaciones de glucosa + fructuosa + maltodextrina), ya que los estudios indican que se reduce la oxidación de glucosa en el hígado hasta un 30% y mejora el rendimiento del deportista en eventos de resistencia (Burke y col., 2011; Evans y col., 2009).

La decisión de consumir carbohidratos durante un evento debe ser tomada por cada deportista basada en aspectos como (Burke, 2010):

- La duración y condiciones del evento
- Antecedentes de fatiga y disminución del rendimiento en eventos similares o entrenamientos de simulación
- La disponibilidad de hidratos de carbono previo a la carrera
- Disponibilidad para reabastecerse de nutrientes energéticos durante el evento

Recuperación Post-ejercicio

Es recomendable la recuperación de los depósitos de glucógeno a los niveles normales después de una competencia de resistencia (como una maratón) o de un entrenamiento exhaustivo. Sobre todo cuando el atleta se encuentra en competencias constantes, como una

carrera a la semana o entrenamientos de periodo prolongado diarios. Esto debido a que al cuerpo le lleva entre 24 y 48 horas recuperar sus niveles de glucógeno aún cuando se está en reposo y con un ingesta calórica adecuada (Burke, 2010).

Una ingesta de 8 gramos de carbohidratos por kilogramo de peso corporal o más después del ejercicio, permite al atleta una recuperación a nivel metabólico para la realización del siguiente ejercicio con el mismo rendimiento o incluso mejor que antes (Achten y col., 2004). Además esta práctica logra disminuir la aparición del “overreaching”, que es el estado previo al sobreentrenamiento en el cuál el atleta percive la sensación de que lo que está haciendo es algo que está fuera de su alcance.

CONCLUSIONES

- Se describieron las respuestas fisiológicas del agua y de la temperatura corporal en el atleta de resistencia, evidenciando la función vital que cumple en el organismo y la función necesaria para un óptimo desempeño deportivo.
- Se evidenciaron los efectos negativos que ocasionan los distintos niveles en el estado de deshidratación en atletas y como perjudica esto en su rendimiento físico, explicando de manera fisiológica la respuesta del organismo en el atleta que hay sobre la tensión térmica y la tensión cardiovascular.
- Se explicaron las distintas técnicas utilizadas para evaluar el estado de hidratación corporal y se describió cuales son los más convenientes y por qué, ya que una técnica mal ejecutada ocasiona resultados sesgados e incorrectos.
- Se puntualizó la base científica de las bebidas deportivas y no deportivas utilizadas por los atletas de resistencia, se describieron las más populares mostrando información avalada sobre el efecto ergógeno, efectos secundarios y las dosis que se deben utilizar para aprovecharlas al máximo.
- Se acentuó la importancia de la pérdida de fluidos en atletas y las estrategias de su reposición según el ambiente antes, durante y después del ejercicio, tomando en cuenta los diferentes tipos de bebidas que se utilizan y también se documentó en que momento es conveniente su administración y en que cantidad.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones sobre la hidratación deportiva, recomendaría continuar con la actualización tanto de los estudios de campo como los análisis de revisión. Lo anterior tiene la finalidad de seguir nutriendo y fortaleciendo esta área a través de contar con fuentes científicas de calidad. En todo momento debemos recalcar la importancia de difundir la información a todo el equipo de trabajo del deportista, como son: el entrenador, el nutriólogo, el médico y el psicólogo, esto con la finalidad de desempeñar un papel multidisciplinario (Figura 15). El objetivo del equipo e trabajo es potenciar al máximo el desempeño físico del atleta sin perjudicar su salud, obteniendo resultados en competencia y entrenamiento favorables.



Figura 15. Equipo Multidisciplinario

BIBLIOGRAFÍA

Achten J, Halson SH, Moseley L, Rayson MP. 2004. Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. *Journal of Applied Physiology*. 96:1331-1340.

Almond CS, Shin AY, Fortescue EB. 2005. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *N Engl J Med*. 352:1550–6.

American College of Sports Medicine (ACSM). 2007. Exercise and Fluid Replacement. Special Communications. *Med Sci Sports Exerc*. 39: 377-90.

Apostu M. 2014. A strategy for maintaining fluid and electrolyte balance in aerobic effort. Elsevier. 117:323-328.

Armstrong LE. 2007. Assessing hydration status: the elusive gold standard. *Journal of the American College of Nutrition* Vol. 26, No. 5, 575S-584S.

Armstrong LE. 2005. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev* 63:S40-54.

Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT Jr, Casa DJ, Kavouras SA. 1998. Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr*. 8(4):345-55

Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, Bergeron MF. 1994. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr* 4: 265-279.

Armstrong LE, Maresh CM. 1991. The induction and decay of heat acclimatization in trained athletes. *Sports Med*. 33:941-7.

Ascensión M, Manonelles P, Palacios N, Wärnberg Julia. 2014. Physical activity, hydration and health. *Nutricion hospitalaria*. 29(6):1224-1239.

Bachle L, Eckerson J, Albertson L, Ebersole K, Goodwin J, Petzel D. 2001. The effect of fluid replacement on endurance performance. *J Strength Cond Res*. 15(2):217-24

Baillot M, Hue O. 2015. Hydration and thermoregulation during a half-ironman performed in tropical climate. *Journal of Sports Science and Medicine*. 14:263-268.

Bartok C, Schoeller DA, Sullivan JC, Clark RR, Landry GL. 2004. Hydration testing in collegiate wrestlers undergoing hypertonic dehydration. *Med. Sci. Sports Exerc*. 36:510-517.

Barr SI, Costill DL, Fink WJ. 1991. Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med Sci Sports Exerc*. 23(7):811-7.

Beck KL, Thomson JS, Swift RJ, von Hurst PR. 2015. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access Journal of Sports Medicine*. 6: 259-267.

Beis LY, Polyviou T, Malkova D, Pitsiladis P. 2011. The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 8: 24.

Bell DG, McLellan TM. 2002. Exercise endurance 1, 3 and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and no users. *J Appl Physiol*. 93:1227-34.

Bernardot D. 2006. Advanced sports nutrition, In: *Nutritional sources for athletes*, Human Kinetics, pp 75-100, 124-133

Bernardot D. 2000. *Nutrition for serious athletes: An advanced guide to foods, fluids and supplements for training and performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 77-78.

Borer KT. 2003. *Exercise Endocrinology*. 1 ed. Champaign, IL: Human Kinetics. 273 p.

Boulant TH. 2000. Role of the preoptic-anterior hypothalamus in thermoregulation and fever. *Clin infect Dis*. 31(5):S157-61

Burke LM, Hawley JA, Wong SHS, Jeukendrup A. 2011. Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*. 29(1):17-27

Burke LM. 2010. Nutrición en el deporte Un enfoque Practico. 6ª ed. Madrid, España. Medica panamericana. 536 p.

Burke LM. 2001. Nutritional needs for exercise in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 128, 735-748.

Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS. 2010. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train.* 45:147-156

Charkoudian N. 2003. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it Works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc.* 78:603-612.

Cheung SS, McLellan TM, Tenaglia S. 2000. The thermophysiology of uncompensable heat stress: Physiological manipulations and individuals characteristics. *Sports Med;* 29:329-59.

Cheuvront SN, Kenefick RW, Montain SJ, Sawka MN. 2010. Mechanism of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *J Appl Physiol.* 109(6)1989-95.

Cheuvront SN, Sawka MN. 2005. Hydration assessment of athletes. *Sports Sci Exchange GSSI.* 18(2):97.

Cheuvront SN, Carter III R, Montain SJ, Sawka MN. 2004. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14: 532-540.

Cheuvront SN, Carter R, Sawka MN. 2003. Fluid Balance and endurance exercise performance. *Sport Medicine Reports* 2:202-208.

Cheuvront SN, Haymes EM. 2001. Ad libitum fluid intakes and thermoregulatory responses of female distance runners in three environments. *J Sports Sci.* 19:845–54.

Chorley J, Cianca J, Divine J. 2007. Risk factors for exercise-associated hyponatremia in non-elite marathon runners. *Clin J Sport Med* 17:471–7.

Clemente VJ, Muñoz VE, Martínez A. 2011. Fatiga del sistema nervioso después de realizar un test de capacidad de sprints repetidos (RSA) en jugadores de fútbol de categoría juvenil. *Apunts. Medicina de l'Esport*; 46 (172):177-82.

Conway KJ, Orr R, Stannard SR. 2003. Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. *J Appl Physiol*. 94:1557-62.

Cooper KE. 2002. Some historical perspectives on thermoregulation. *J Appl Physiol*. 92: 1717-24.

Cote-Menéndez, Rangel CX, Sánchez MY, Medina A. 2011. Bebidas energéticas: ¿hidratantes o estimulantes? *Rev Fac Med*. 59:255-266.

Coutts A, Reaburn P, Mummery K, Holmes M. 2002. The effect of glicerol hyperhydration on Olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. *International Journal of Sport Medicine*. 11:263-266.

Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, Anderson ME, Bruce CR. 2002. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 93, 990–999.

Coyle EF, González A. 2001. Cardiovascular drift prolonged exercise: new perspectives. *Exerc Sports Sci Rev*. 29(2):88-92

Coyle EF, Jeukendrup AE, Oseto MC, Hodgkinson BJ, Zderic TW. 2001. Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*. 280, E391–E398.

Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodríguez R. 2009. Caffeine during exercise in the heat: thermoregulation and fluid-electrolyte balance. *Med Sci Sports Exerc*. 41 (1): 164-73.

Dietitians of Canada and the American College of Sports Medicine (ACSM). 2009. Position of the American Dietetic Association: Nutrition and Athletic Performance. *J Am Diet Assoc.* 109:509-27.

Easton C, Turner S, Pitsiladis YP. 2007. Creatine and glycerol hyperhydration in trained subjects prior to exercise in the heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 2 17 (1): 70-91.

Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. 2009. Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition.* 25(9):905-13.

Febbraio MA. 2000. Does muscle función and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc Sport Sci Rev.* 28(4):171-6.

Fernández VE, Martínez A, López JM, Morán R, Pallarés JG. 2014. Validity of hydration non-invasive índices during the weightcutting and oficial weigh-in for olympic combat sports. *PLoS ONE* 9(4): e95336.

Francesconi RP, Sawka MN, Pandolf KB. 1984 Hypohydration and acclimation:effects on hormone responses to exercise/heat stress. *Aviat Space Environ Med.* 55: 365–369.

García-Frade RLF, Mas AP. 2007. Actualidades en el estudio y manejo de la hiponatremia. *Med Int Mex.* 23:138-50.

Gil-Antuñano NP, Iglesias-Gutierrez E, Úbeda N. 2008. Efecto de la cafeína en el rendimiento deportivo. *Med Clin.* 131(19):751-5.

Gisolfi CV, Lamb DR, Nadel ER. 1993. Perspectives in exercise science and sports medicine. Vol 6: Excercise, heat and thermoregulation. USA: Cooper Publishing Group. 389 p.

Godfrey RJ, Madgwick Z, Whyte GP. 2003. The exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports Med.* 33: 599–613.

González-Alonso José, Calbet JA, Nielsen B. 1999. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *Journal of Physiology*. 520 (2):577-589.

Goulet EDB. 2010. Glycerol-Induced Hyperhydration: A Method for Estimating the Optimal Load of Fluid to Be Ingested Before Exercise to Maximize Endurance Performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 24 (1): 74-8.

Goulet EDB. 2012. Dehydration and endurance performance in competitive athletes. *Nutrition Reviews*. 70(2):S132-S136.

Graham TE, Spriet LL. 1991. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *J Appl Physiol*. 71:2292-8.

Graham TE. 2001. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports medicine*. 31:765-S07.

Grandjean AC, Reimers KJ, Haven MC, Curtis GL. 2003. The effect on hydration of two diets, one with and one without plain water. *J. Am. Coll. Nutr*. 22: 165-173.

Guillén LR, Mielgo JA, Norte AN, Cejuela R. 2015. Composición corporal y somatotipo en triatletas universitarios. *Nutr Hosp*. 32(2):799-807.

Hackney KJ, Cook Summer B, Fairchild TJ, Ploutz-Snyder LL. 2012. Skeletal muscle volumen following dehydration induced by exercise in heat. *Extreme physiology & medicine*. 1:3

Hamouti N, Del Coso J, Avila A, Mora-Rodriguez R. 2010. Effects of athletes muscle mass on urinary markers of hydration status. *Eur J Appl Physiol* 109: 213-219.

Hamouti N, Del Coso J, Mora-Rodriguez R. 2013. Comparison between blood and urinary fluid balance indices during dehydrating exercise and the subsequent hypohydration when fluid is not restored. *Eur J Appl Physiol*. 113(3):611-20.

Hansen S, Kvorning T, Kjaer M, Sjogaard G. 2001. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports* 11: 347–354.

Hartley TR, Lovallo WR, Whitsett TL. 2004. Cardiovascular effects of caffeine in men and women. *Am J Cardiol.* 93:1022-6.

Hartley TR, Sung BH, Pincomb GA, Whitsett TL. 2000. Hypertension risk status and effect of caffeine on blood pressure. *Hypertension.* 36:137-41.

Hew-Butler T, Ayus JC, Kipps C, Maughan RJ. 2008. Statement of the Second International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, New Zealand, 2007. *Clin J Sport Med.* 18:111–21.

Hew-Butler T, Verbalis JG, Noakes TD. 2006. International Marathon Medical Directors Association. Updated fluid recommendation: position statement from the International Marathon Medical Directors Association (IMMDA). *Clin J Sport Med.* 16:283–92.

Hew-Butler T, Chorley JN, Cianca JC, Divine JG. 2003. The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners. *Clin J Sport Med.* 13:41–7.

Hitchins S, Martin DT, Burke L, Yates K. 1999. Glycerol hyperhydration improves cycle time trial performance in hot humid conditions. *European Journal of Applied Physiology.* 80:494-501.

Hue O, Voltaire B, Hertogh C, Blanc S. 2006. Heart rate, thermoregulatory and humoral responses during a 9-day cycle race in a hot and humid climate. *International Journal of Sports Medicine.* 27, 690-696.

Iglesias Rosado, C., Villarino Marín, A. L., Martínez, J. A., Cabrerizo, L. 2011. Importancia del agua en la hidratación en la población española: documento FESNAD. *Nutrición Hospitalaria.* 26(1), 27-36.

Janský L, Matoušková E, Vávra V, Vybíral E, Janský P, 2006. Thermal, Cardiac and Adrenergic Responses to Repeated Local Cooling. *Physiol Res.* 55(5):543-549.

Jequier E, Constant F. 2010. Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *Eur J Clin Nutr.* 64(2): 115-23

Jentjens RL, Jeukendrup AE. 2003. Effects of pre-exercise ingestion of trehalose, galactose and glucose on subsequent metabolism and cycling performance. *European Journal of Applied Physiology.* 88:459–465.

Jeukendrup AE. 2011. Nutrition for endurance sports: maratón, triatlón and road cycling. *J Sports Sci.* 29 (1):S91-9.

Jeukendrup AE, Killer S. 2011. The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. *Annals of Nutrition and Metabolism.* 57(2): 18–25.

Jeukendrup AE. 2010. Carbohydrate and exercise performance: The role of multiple transportable carbohydrates. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care.* 13: 452–457.

Jeukendrup AE, Rollo I, Carter JM. 2013. Enjuague bucal con carbohidratos: efectos sobre el rendimiento y mecanismos. *Sports Science Exchange.* 26(118):1-8.

Jeukendrup AE. 2013. Carbohidratos de transporte múltiple y sus beneficios. *Sports science Exchange.* 26(108):1-5.

Jones G. 2008. Caffeine and other sympathomimetic stimulants: modes of action and effects on sports performance. *Essays Biochem.* 44:109-23.

Judelson DA, Maresh CM, Yamamoto LM, Farrel MJ, Armstrong LE. 2008. Effect of hydration state on resistance exercise-induced endocrine markers of anabolism, catabolism, and metabolism. *J Appl Physiol.* 105: 816-824.

Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE. 2007. Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sport Med.* 37 (10):907-921.

Kavouras S, Armstrong LE, Maresh CM, Casa DJ. 2006. Rehydration with glicerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J Appl Physiol.* 100(2):422-450.

Kechijian D. 2011. Optimizing nutrition for performance at altitude: a literature review. *Journal of Special Operations Medicine: a peer reviewed.* 11(1):12-17.

Kellog DL, Pérgola PE, Kosiba WA. 1995. Cutaneous active vasodilation in humans is mediated by cholinergic nerve cotransmission. *Circ Res.* 77:1222-8.

Kellog DL, Johnson JM, Kosiba WA. 1991. Control of internal temperatura threshold for active cutaneous vasodilation by dynamic exercise. *J appl physiol.* 71:2476-82.

Kenefick RW, Chevront SN, Sawka MN. 2007. Thermoregulatory function during the marathon. *Sports Medicine.* 37, 312-315.

Kipps C, Sharma S, Pedoe DT. 2011. The incidence of exercise-associated hyponatremia in the London maratón. *Br J Sports Med.* 45:14-19

Koulman N, Jimenez C, Regal D, Bolliet P. 2000. Use of bioelectrucal impedance analysis to estimate body fluid compartments after acute variations of the body hydration level. *Med Sci Sports Excerc.* 32(4):857-64.

Mack GW, Cordero D, Peters J. 2001. Baroreceptor modulation of active cutaneous vasodilation during dynamic exercise in humans. *J Appl Physiol.* 90: 1464-73.

Maresh CM, Gabaree-Boulant CL, Armstrong LE, Judelson DA. 2004. Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol.* 97(1):39-44.

Maresh CM, Herrera-Soto JA, Armstrong LE, Casa DJ. 2001. Perceptual responses in the heat after brief intravenous versus oral rehydration. *Med Sci Sports Excerc.* 33(6):1039-45.

Martínez AB, López FJ, Luque AJ, Mulero F. 2005. Factores que influyen sobre el vaciado gástrico de bebidas deportivas durante el ejercicio. *Archivos de Medicina del Deporte*. 22(108):303-310.

Maughan RJ, Otani H, Watson P. 2012. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in a warm environment. *European Journal of Applied Physiology*. 112(6):2313-2321.

Maughan RJ, Shirreffs SM. 2010^a. Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scand J Med Sci Sports*. 20(3):40–47

Maughan RJ, Shirreffs SM. 2010^b. Development of hydration strategies to optimize performance for athletes in high-intensity sports and in sports with repeated intense efforts. *Scand J Med Sci Sports*. 20(2):59-69.

Maughan RJ, Merson SJ, Broad NP, Shirreffs SM. 2004. Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *Int J of Sport Nut and Exerc Metab*. 14:327-340.

Maughan RJ. 2003. Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *Eur J Clin Nutr*. 57(2):S19–23.

Maughan RJ, Griffin J. 2003. Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet*. 16(6): 411-20.

Maughan RJ, Dargavel LA, Hares R, Shirreffs SM. 2009. Water and salt balance of well-trained swimmers in training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 19(6): 598-606.

McArdle WD. 2005. *Sports & exercise nutrition*. 2da ed. Philadelphia: A Wolters Kluwer Company. 619 P.

McConnell GK, Burge CM, Skinner SL, Hargreaves M. 1997. Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol Scand*. 160(2):149-56.

McLellan TM, Bell DG. 2004. The impact of prior coffee consumption on the subsequent ergogenic effect of anhydrous caffeine. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 14: 698-708.

Mettler S, Rusch C, Frey WO, Bestman L. 2008. Hyponatremia among runners in the Zurich Marathon. *Clin J Sport Med*.18:344–9.

Morales S. 2006. Depleción hídrica en atletas escolares de taekwondo. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte*. 6(21):1577-0354

Moran DS, Pandolf KB, Laor A, Heled Y. 2003. Evaluation and refinement of the environmental stress index for different climatic conditions. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 14(1):1-15.

Murray B. 2007. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr*. 26(5):S542-8.

Negro M, Giardina S, Marzani B, Marzatico F. 2008. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sports Med Phys Fitness*. 48: 347-51.

Neufer PD, Sawka MN, Young AJ, Quigley MD, Lutzka WA, Levine L. 1991. Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. *J Appl Physiol*. 70:1490-4.

Noakes TD. 2012. Commentary: role of hydration in health and exercise. *BMJ*. 345:e4171.

Noakes TD. 2007. Drinking guidelines for exercise: what evidence is there that athletes should drink “as much as tolerable”, “to replace the weight lost during exercise” or “ad libitum”? *J Sports Sci*. 25(7):781–796.

Noakes TD, Sharwood K, Speedy D. 2005. Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: evidence from 2,135 weighed competitive athletic performances. *Proc Natl Acad Sci*. 102:18550–5.

Nybo L, Nielsen B. 2001. Hyperthermia and central fatiga during prolonged exercise in humans. 91:1055-1060.

O'Brien C, Young AJ, Sawka MN. 2002. Bioelectrical impedance to estimate changes in hydration status. *Int. J. Sports Med*. 23:361-366.

O'Connor PJ, Motl RW, Broglio SP, Ely MR. 2004. Dose-dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure. *Pain*. 109:291-8.

Oppliger RA, Magnes SA, Popowski LA, Gisolfi CV. 2005. Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 15(3):236-51.

Panel on Dietary Reference Intakes for Electrolytes and Water. 2005. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*. Washington, D.C. Institute of Medicine, National Academy Press. 616 p.

Pasman WJ, Van Baak MA, Jeukendrup AE, Haan A. 1995. The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *Int J Sports Med*. 16:225-30.

Patel AV, Mihalik JP, Notebaert AJ, Guskiewicz KM. 2007. Neuropsychological performance, postural stability and symptoms after dehydration. *Journal of Athletic training*. 42(1):66-75.

Peyreigne C, Bouix D, Fédou C, Mercier J. 2001. Effect of hydration on exercise-induced growth hormone response. *Eur J Endocrinol*. 145: 445–450.

Peniche C, Boulosa B. 2011. *Nutrición aplicada al deporte*. 1a ed. Mexico: McGraw Hill. 367 p.

Pfeiffer B, Stellingwerff T, Hodgson AB, Randell R, Pöttgen K. 2012. Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Medicine & Science in Sports Exercise*. 44(2), 344-351.

Popowski LA, Oppliger RA, Patrick LG, Johnson RF. 2001. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc*. 33(5):747-53.

Reid SA, Speedy DB, Thompson JM, Noakes TD. 2004. Study of hematological and biochemical parameters in runners completing a standard marathon. *Clin J Sport Med*. 14:344–53.

Rehrer NJ. 2001. Fluid and electrolyte balance in ultraendurance sport. *Sports Med*. 31: 701-15.

Robles A, Michel A, Callejas RC, Malamud C. 2014. Los barorreflejos arteriales cardiovagal, cardiosimpático y vasosimpático y el control neural de la presión arterial a corto plazo. *Rev Neurol.* 59:508-16.

Rodríguez NR, Di Marco NM, Langley S. 2009. American College of Sports Medicine position stand: Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 41, 709–731.

Rowell LB. 1993. *Human cardiovascular control.* New York, Oxford University Press. 500 P

Saini J, Bothorel B, Brandenberger G, Candas V, Follenius M. 1990. Growth hormone and prolactin response to rehydration during exercise: effect of water and carbohydrate solutions. *Eur J Appl Physiol.* 61: 61–67.

Salinero JJ, Lara B, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millán C, Areces F. 2014. The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. 112, 1494-1502.

Sanders B, Noakes TD, Dennis SC. 2001. Sodium replacement and fluid shifts during prolonged exercise in humans. *Eur J Appl Physiol.* 84:419–425.

Saunders AG, Dugas JP, Tucker R, Lambert MI. 2005. The effects of different air velocities on heat storage and body temperature in humans cycling in a hot, humid environment. *Acta Physiologica Scandinavia.* 183(3): 241-255.

Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. 2007. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise,* 39, 377–390.

Sawka MN, Cheuvront SN, Carter R III. 2005. Human water needs. *Nutr Rev* 63:S30–S39.

Sawka MN, Mountain SJ. 2000. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr.* 72:S564-72.

- Sawka MN, Coyle EF. 1999. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport sci rev.* 27:167-218.
- Schett TP, Webster MJ, Wagoner KD. 2001. Effectiveness of glycerol as a rehydrating agent. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 11(1):63-71.
- Schliess F, Haüssinger D. 2003. Cell volume and insulin signaling. *Int Rev Cytol* 225: 187–228.
- Sherman WM, Plyley MJ, Sharp RL, Van Handel PJ. 1982. Muscle glycogen storage and its relationship with water. *Int Jv Sports Med.* 3:22–24.
- Shibasaki M, Wilson TE, Crandall CG. 2006. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. *J Appl Physiol.* 100(5): 1692-701.
- Shirreffs SM, Sawka MN. 2011. Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *Journal of Sports Sciences.* 29(1): 39-46.
- Shirreffs SM. 2009. Hydration in sport and exercise: water, sports drinks and other drinks. *Nutrition Bulletin.* 34, 374-379.
- Shirreffs SM. 2003. Markers of hydration status. *Eur J clin Nutr* 57 Suppl 2: S6-9.
- Shirreffs S, Maughan R. 1997. Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *Med Sci Sports Exerc.* 30:1598–1602.
- Siegel AJ, Verbalis JG, Clement S. 2007. Hyponatremia in marathon runners due to inappropriate arginine vasopressin secretion. *Am J Med.* 120:461.e11–17.
- Sökmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, Casa DJ. 2008. Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *J Strength Cond Res.* 22:978-86.
- Soler R, Echegaray M, Rivera MA. 2003. Thermal responses and body fluid balance of competitive male swimmers during a training session. *J Strength Cond Res.* 17 (2): 362-7.

Speedy DB, Noakes TD, Rogers IR. 1999. Hyponatremia in ultradistance triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 31:809–15.

Stachnik JM. 2013. Contemporary Management of Hyponatremia. *Pharmacy Practice news. Revista* Vol 40.

Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL. 2000. Protein- and carbohydrate- induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology.* 89 (3): 1165-71.

Stofan JR, Zachwieja JJ, Horswill CA, Murray R. 2005. Sweat and sodium losses in NCAA football players: a precursor to heat cramps. *Int J of Sport Nut and Exerc Metab.* 15:641-652.

Tam N, Nolte HW, Noakes TD. 2011. Changes in total body water content during running races of 21.1 km and 56 km in athletes drinking ad libitum. *Clin J sport Med.* 21(3):218-25.

Tortora y Reynolds, 2002. *Principios de anatomía y fisiología.* 9ª ed. Madrid, España. Medica panamericana. 1154 p.

Unwin RJ, Luft FC, Shirley DG. 2011. Pathophysiology and management of hypokalemia: a clinical perspective. *Nat. Rev. Nephrol* 7(2):75-84.

Urdampilleta A, Gómez S. 2014. De la deshidratación a la hiperhidratación; bebidas isótónicas y diuréticas y ayudas hiperhidratantes en el deporte. *Nutr Hosp.* 29(1):21-25.

Urdampilleta A, Gómez-Zorita S, Soriano JM, Martínez-Sanz JM. 2015. Hydration and chemical ingredients in sport drinks: food safety in the european context. *Nutr Hosp.* 31(5):1889-1899.

Urdampilleta A, Vicente-Salar N, Martínez Sanz JM. 2012. Necesidades proteicas de los deportistas y pautas diético-nutricionales para la ganancia de masa muscular. *Rev Esp Nutr Hum Diet.* 16: 25-35.

Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM, Julia-Sanchez S, Álvarez-Herms J. 2013. Protocolo de hidratación antes, durante y después de la actividad físico-deportiva. *European Journal of Human Movement*. 31:57-76.

Utter AC, McAnulty SR, Riha BF, Pratt BA. 2012. The validity of multifrequency bioelectrical impedance measures to detect changes in the hydration status of wrestlers during acute dehydration and rehydration. *J Strength Cond Res*. 26(1):9-15.

Van Rosendal SP, Osborne MA, Fassett RG, Coombes JS. 2010. Guidelines for glicerol use in hyperhydration and rehydration associated with exercise. *Sports Medicine*. 40(2):113-29.

Vaugeois, JM. 2002. Signal transduction: positive feedback from coffee. *Nature*. 418:734-6.

Veselková A, Stich V, Zelený J. 1988. The effect of dehydration on hormone levels in graduated physical exertion. *Cas Lek Cesk*. 127: 337–339.

Vist GE, Maughan RJ. 1995. The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *Journal of Physiology*. 486: 523–31.

Voltaire B, Berthouze-Aranda S, Hue O. 2003. Influence of a hot/wet environment on exercise performance in natives to tropical climate. *Journal of Sports Medicine and Physical Fit-ness*. 43, 306-311.

Von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithäuser R. 2004. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition*. 20:651-656.

Vybiral S, Lesna I, Jansky L, and Zeman, V. 2000. Thermoregulation in winter swimmers and physiological significance of human catecholamine thermogenesis. *Experim. Physiol*. 85, 326-343.

Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC. 1994. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med*. 15(7):392-8.

Wendt D, Van Loon LJ, Lichtenbelt WD. 2007. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med.* 37(8):669-82.

Williams MH. 2002. *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte.* 5ta ed. Barcelona: Editorial paidotribo. 502 p.

Witard OC, Jackman SR, Kies AK. 2011. Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training. *Med Sci Sports Exerc.* 43 (4): 598-607.

Yeo SE, Jentjens RLPG, Wallis GA, Jeukendrup AE. 2005. Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *J Appl Physiol.* 99:844-50.

Young AJ, Sawka MN, Epstein Y, Decristofano B. 1987. Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *J Appl Physiol.* 63(3):1218-23.

Zhang Y, Coca A, Casa DJ. 2014. Caffeine and diuresis during rest and exercise: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport* 1071.