

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE MEDICINA

ESPECIALIZACIÓN EN MEDICINA DEL DEPORTE

EFFECTO DE LA HIPER- HIDRATACIÓN PRE-EJERCICIO SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO DURANTE UNA PRUEBA DE CARRERA PROLONGADA EN DEPORTISTAS BIEN ENTRENADOS REALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO ENTRE ENERO Y MARZO 2015.

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL DEPORTE.

Dr. SALAZAR JIMÉNEZ HÉCTOR MICHAEL

Director Dr. Oscar Concha Zambrano
Director metodológico Dr. Marco Antonio Pino

Quito 2016

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, HÉCTOR MICHAEL SALAZAR JIMÉMEZ, portador de la cédula de ciudadanía 1710456334, declaro que los resultados obtenidos en esta investigación, que presento como informe final, previo a la obtención del título de especialista en MEDICINA DEL DEPORTE, son absolutamente originales, auténticos y personales. En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi exclusiva responsabilidad legal y académica.

HECTOR MICHAEL SALAZAR JIMÉNEZ

C.C. 1710456334

**PARA TÍTULOS PROFESIONALES DE ESPECIALISTAS DE LA PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.**

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, HÉCTOR MICHAEL SALAZAR JIMENEZ, con C.C. 1710456334, autor del trabajo de graduación intitulado: **“Efecto de la hiper- hidratación pre-ejercicio sobre el rendimiento físico durante una prueba de carrera prolongada en deportistas bien entrenados realizado en la ciudad de Quito entre enero y marzo 2015”**, previa a la obtención del título profesional de ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL DEPORTE en la Facultad de Medicina, declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENECYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea ingresado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para difusión pública respetando los derechos del autor. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedades intelectuales de la universidad.

HÉCTOR MICHAEL SALAZAR JIMÉNEZ

C.C. 1710456334

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, principalmente mis hijos y mi esposa, por ser ese soporte fundamental para seguir día a día siendo una mejor persona y profesional; a todos quienes fueron mis docentes tanto en el pregrado como en el postgrado ya que al compartir su conocimiento y experiencias son parte del desarrollo del individuo; a mis compañeros que formaron parte este gran reto que lo tomamos hace unos años con el fin de obtener una especialidad que tanto nos apasiona; y a Dios que es nuestra fuente de energía e inspiración en todo lo que hacemos.

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes durante el tiempo que me formé y en la elaboración de este trabajo pusieron un grano de arena para que se llegue a culminar con éxito lo que iniciamos como una gran aventura y que siempre ha sido y será lo que tanto me apasiona, la “MEDICINA DEL DEPORTE”.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	2
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
TABLA DE FIGURAS	8
TABLA DE GRAFICOS	9
TABLA DE TABLAS.....	10
RESUMEN Y ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	20
HIDRATACIÓN	21
EL AGUA.....	23
DESHIDRATACIÓN.....	30
TERMORREGULACIÓN	36
PORCENTAJE DE GRASA	45
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	47
OBJETIVO GENERAL	47
HIPOTESIS GENERAL	47
INSTRUMENTOS.....	47
MÉTODO	48
Información general sobre el Estudio	48
Las pruebas preliminares	49
Protocolo pre- intervención	49
Prueba de familiarización.....	50

Los períodos pre-ejercicio hiper- hidratación y eu- hidratación	50
Dieciocho Kilómetros contrarreloj.....	51
CÁLCULO DE LA MUESTRA.....	52
ASPECTOS BIOÉTICOS.....	54
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	55
Pruebas no paramétricas	59
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	70
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	75
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

TABLA DE FIGURAS

Figura I. CÁLCULO DE LA MUESTRA (Epi- Info).....	52
Figura II. TEST DE WILCOXON PARA EL PESO CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	60
Figura III. TEST DE WILCOXON PARA LA GRAVEDAD URINARIA ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	61
Figura IV. TEST DE WILCOXON PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	61
Figura V. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION.....	62
Figura VI. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION.....	62
Figura VII. TEST DE WILCOXON PARA EL PESO CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAACION	64
Figura VIII. TEST DE WILCOXON PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA URINARIA ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAACION	64
Figura IX. TEST DE WILCOXON PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAACION	65
Figura X. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAACION	65
Figura XI. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAACION	66
Figura XII. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PESO CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	67
Figura XIII. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA URINARIA ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	68
Figura XIV. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	68
Figura XV. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION	69
Figura XVI. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAACION.....	69

TABLA DE GRAFICOS

Gráfico I. PROMEDIO DE EDAD	55
Gráfico II. TIEMPO DE PRACTICAR EL DEPORTE	56
Gráfico III. PORCENTAJE DE FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA.....	56
Gráfico IV. TALLA DE LOS DEPORTISTAS	57
Gráfico V. RELACION ENTRE EDAD Y GENERO	58

TABLA DE TABLAS

Tabla I ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS MÍNIMAS DIARIAS DE AGUA Y SU PRODUCCIÓN	25
Tabla II. PROPORCIÓN DE AGUA CORPORAL COMO PORCENTAJE DEL PESO CORPORAL.....	27
Tabla III. EFECTOS ADVERSOS DE LA PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL EJERCICIO	32
Tabla IV. PORCENTAJE ENTRE VARONES Y MUJERES	55
Tabla V. FRECUENCIA DE MALESTAR GENERAL.....	57
Tabla VI. DIFERENCIAS ANTES Y DESPUÉS EN EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACIÓN...	60
Tabla VII. DIFERENCIAS ANTES Y DESPUÉS EN EXPUESTOS A EU- HIDRATACIÓN.....	63
Tabla VIII. COMPARACIÓN ENTRE ATLETAS SOMETIDOS A HIPER- HIDRATACIÓN Y EU- HIDRATACIÓN, SEGÚN VARIABLES DEL ESTUDIO.....	67

RESUMEN Y ABSTRACT

Objetivo: Relacionar los estados de hiper- hidratación y eu-hidratación pre-ejercicio sobre el rendimiento físico en condiciones de altura.

Materiales y métodos: Se realizó una prueba de carrera constante (PCC) en laboratorio y mediciones de frecuencia cardíaca, pérdida de peso corporal y nivel de hidratación.

Participaron 10 individuos (4 mujeres - 6 hombres), que practican atletismo de manera constante, adaptados a la altura, con una edad promedio de 34,5 años. Los participantes fueron informados de los objetivos, procedimientos y riesgos del estudio, firmando el respectivo consentimiento. Se realizó análisis bivariado comparando los resultados antes y después de la PCC en estado hiper-hidratado (expuestos) y eu-hidratado (no expuestos). Se utilizaron las pruebas no paramétricas de Wilcoxon y U de Mann Whitney.

Resultados: Para el estudio en momento de hiper – hidratación, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los estados pre y post PCC para la gravedad específica urinaria ($p 0,046$) y temperatura corporal ($p 0,005$). El porcentaje de agua corporal no mostró diferencia estadísticamente significativa ($p 0,838$). La pérdida de peso corporal presentó una diferencia ($p 0,017$), a pesar de que no excedió el 2% en ninguno de los dos momentos.

Para el momento de eu- hidratación, se encontraron variaciones antes y después de la PCC en el peso corporal ($p 0.005$), gravedad específica urinaria ($p 0.005$), temperatura corporal ($p 0.005$) y porcentaje de agua corporal ($p 0.005$).

En el caso del porcentaje de grasa corporal y la frecuencia cardíaca, no se apreciaron cambios significativos en ninguno de los estados de hidratación o momentos de la prueba.

Conclusiones: La hiper-hidratación pre-ejercicio realizada con sodio, evita la pérdida de peso corporal $> 2\%$ y podría ayudar a mantener el rendimiento en atletas entrenados. La hiper- hidratación demostró ser tolerada por los participantes. Los deportistas conocen la forma de mantenerse eu- hidratados durante la carrera lo que evita consecuencias en su salud, pero desconocen los probables beneficios de la hiper hidratación pre ejercicio.

Palabras clave: nivel de hidratación, pérdida de peso corporal, rendimiento físico, altura.

ABSTRACT

Objective: To relate the states of hyper-hydration and eu-hydration pre exercise hydration on physical performance in high altitude conditions.

Methods and materials: Lab constant running test (PCC), heart rate, body weight loss and hydration level measurements were taken. 10 individuals participated on the study (6 male - 4 female) on constant walking adapted to high altitude, within 34.5 year age range. The participants were previously informed about the objectives, procedures and risk of the study, signing the respective agreement.

Bivariate analysis was carried out, the before and after hyperhydration (exposed) and eu-hydration (non exposed) on the PCC results were compared. Wilcoxon y U de Mann Whitney nonparametric test were used.

Results: To be a hyperhydration study, for the urinary specific gravity (p 0,046), significant statistical differences were found between pre and post PPC, for body temperature (p 0,005) was found. Loss of body weight represents a difference (p 0.017), although it did not exceed 2% in either moments.

The time of eu-hydration, variations were found before and after the PCC in body weight (p .005), urinary specific gravity (p 0.005), body temperature (p 0.005) and body water percentage (p .005).

In the case of the percentage of body fat, no significant changes were observed in any of the states of hydration or moments of trial.

Conclusions: The pre-exercise carried out with sodium, over-hydration prevents loss of body > 2% weight and could help maintain performance. Hyperhydration proved to be tolerated by participants. Athletes know how to stay eu-hydrated during the race which avoids health consequences, but do not know the likely benefits of hyperhydration pre exercise.

Keyword: hydration level, body weight loss, physical performance, high altitude conditions.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La importancia de la hidratación antes, durante y después del ejercicio ha sido analizada, considerando el beneficio en el rendimiento de los deportistas; y a la vez, la importancia que tiene para evitar las complicaciones derivadas del desbalance hídrico como golpe de calor que conlleva a falla multiorgánica (Bouchama, 1998).

Las personas que realizan algún tipo de actividad física producen un aumento en su tasa metabólica, lo que lleva a un aumento de la temperatura corporal. La pérdida de agua a través de la evaporación del sudor es la vía principal para enfriar el cuerpo, ya que por este mecanismo se puede perder aproximadamente un 20% del calor corporal (Guyton & Hall, 2006). La pérdida de agua y electrolitos junto con otros varios factores, como la temperatura y humedad ambiental, la intensidad y duración del ejercicio, la grasa corporal del atleta y su adaptabilidad al ejercicio; determinan que la persona pueda llegar a deshidratarse (Gagge & Gonzáles, 1996).

Si no existe un reemplazo adecuado del líquido perdido la persona se deshidratará, con una probable reducción en el rendimiento deportivo (Handcock & Vasmatazidis, 2003) (Szinnai, Schachinger, & Arnaud, 2005), y a la vez afectará la salud, produciendo un cuadro clínico de golpe de calor que pueda llevar a un fallo multiorgánico e incluso la muerte (Pineiro & Martínez, 2004).

El agua cumple un papel importante en el mantenimiento de la homeostasis del cuerpo, si la persona pierde un exceso de agua durante la actividad física, los mecanismos de

regulación de la temperatura serán cada vez menos eficaces. Este es el motivo por el cual es relevante la correcta hidratación del deportista, no solo durante la actividad física y después, como suele ocurrir, sino también antes de iniciar la práctica (Chiriboga & Miranda, 2013).

Varios estudios clínicos han demostrado que el porcentaje de deportistas que inician su actividad física deshidratados va entre el 50 y el 82% (Higham & Naughton, 2009) (Osterberg, Horswill, & Baker, 2009), lo cual se determinó mediante la medición de cambios en el peso corporal y gravedad específica urinaria. La causa de la deshidratación fue la ingesta insuficiente de líquidos antes y durante la actividad física.

En el 2007 el Colegio Americano de Medicina del Deporte sugiere que antes de iniciar la actividad física del deportista debería ingerir con 4 horas de anticipación 5-7 ml/kg y, durante la práctica, la cantidad de 500-700 ml/kg, o lo suficiente para evitar pérdidas superiores al 2% del peso corporal total. Después de la actividad física, se recomienda una dieta que contenga líquidos a libre demanda pues esta debería ser suficiente para volver a un estado de eu- hidratación (Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, & Stachenfeld, 2007).

Las vías más eficaces y prácticas en la clínica para determinar el estado de hidratación son el cambio de peso corporal y la medición de índices urinarios. Respecto a esta última, la medición de la gravedad específica urinaria (USG) medida por refractometría (Dolan & Eberman, 2009).

Por sorprendente que sea, sólo un trabajo realizado en laboratorio hasta la fecha ha estudiado cómo influye la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio en el rendimiento. Fallowfield et al. (Fallowfield, Williams, Booth, Choo, & Grows, 1996) demostró que la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio de 2% disminuyó la potencia de salida en 2,2% durante una prueba de funcionamiento hasta el agotamiento llevado a cabo en 70% el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), 20 ° C y una humedad relativa del 55%. Este hallazgo es poco relevante para los corredores competitivos cuyo objetivo es ejecutar las carreras de una distancia fija lo más rápido posible. Además, los estudios han demostrado que la intensidad del ejercicio durante pruebas de carrera nunca permanecen constantes, sino más bien varía constantemente a lo largo del test (Angus & Waterhouse, 2011) (Lambert, Dugas, Kirkman, Mokone, & Waldeck, 2004). Encontrar una respuesta de cómo los impactos en la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio y el rendimiento de carrera es imprescindible a fin de ampliar la base de pruebas y mejorar las pautas de ingesta de fluidos.

Varios estudios de campo recientes han observado una relación significativa entre la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio y rendimiento de resistencia, con los atletas más rápidos que muestra la mayor pérdida en peso corporal (Kao, et al., 2008) (Zouhal, et al., 2011) (Beis, Wright-Whyte, Fudge, Noakes, & Pitsiladis, 2004). Estos hallazgos no son fáciles de explicar, pero una posibilidad sugerida es que la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio podría mejorar la economía de carrera, de

manera que los atletas que pierden más peso corporal son los que mejor optimizan su velocidad de carrera y, por lo tanto, el rendimiento de resistencia (Coyle, 2004). Tal afirmación tiene sentido teniendo en cuenta que existe una fuerte asociación entre el rendimiento y la economía de carrera y que esta variable es un mejor predictor del rendimiento de resistencia que el VO₂max en corredores de élite con VO₂max (Saunders, Pyne, Telford, & Hauley, 2004).

A pesar de los beneficios propuestos de mantener la pérdida del peso corporal <2% durante el ejercicio, las competiciones de la vida real se asocian con altas velocidades relativas y absolutas que impiden a los corredores de distancia de la competencia de beber un volumen suficiente de líquido para mantener una hidratación adecuada (Noakes, 1993). Por ejemplo, los corredores altamente entrenados han demostrado que consumir entre 150-300 ml / h de líquido, pueden llegar a perder más de un 2% del peso corporal durante una competencia de 15 a 21 km (Buerke, Wood, Pyne, Telford, & Saunders, 2005) (Millard-Stafford, Roskopf, Snow, & Hinson, 1997). En lugar de tratar de aumentar el consumo de líquidos durante el ejercicio, podría ser más sabio para los corredores el hiper- hidratarse antes de hacer ejercicio. De hecho, además de potencialmente retrasar o prevenir la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio $\geq 2\%$, esta técnica se ha demostrado mejorar las funciones cardiovasculares y de termorregulación (Goulet, Pre- Exercise hyperhydration: Comments on the 2007 ACSM position stand on exercise and fluid replacement, 2008) y aumentar la capacidad de resistencia, en comparación con el inicio de un ejercicio eu- hidratado (Goulet, Rousseau, Lamboley, Plante, & Dionne, 2008). Una desventaja potencial de la hiper-

hidratación, es que la carga de fluido extra podría poner en peligro la economía de carrera y obstaculizar el rendimiento, aunque Beis et al. (Beis, Polyviou, Malkova, & Pitsiladis, 2011) mostró que la hiper- hidratación no altera la economía de carrera durante un test de 30 minutos realizado a una intensidad baja.

En este estudio se comparó el efecto de la hiper- hidratación y eu- hidratación en corredores con buen nivel de entrenamiento, a quienes se les realizó una prueba de carrera constante de 18 km de distancia sobre una caminadora motorizada en un laboratorio de fisiología del ejercicio, en condiciones de temperatura ambiental de 16 a 20 grados centígrados en el Distrito Metropolitano de Quito que se encuentra a 2800 metros sobre el nivel del Mar. Se tomó al aumento de peso corporal asociado a la hiper- hidratación reduce la economía de carrera y, en consecuencia el rendimiento, la hipótesis de que en los corredores bien entrenados, al tener una ganancia de peso corporal asociada a la hiper- hidratación, no sería suficiente para afectar de manera significativa la velocidad de carrera, o mejorar las funciones cardiovasculares y de termorregulación, durante un test donde los atletas pueden ajustar su velocidad y el conocimiento del cuerpo al completar la distancia, no proporcionaría una ventaja de rendimiento relacionados con la hiper- hidratación, en comparación con la eu- hidratación.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se ha creído que la pérdida del peso corporal, inducida por el ejercicio, de $\geq 2\%$ perjudica el rendimiento de resistencia durante los ejercicios a temperaturas ambientales bajas, templadas, cálidas y calientes (Cheuvront, Carter, & Sawka, 2003) (Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, & Stachenfeld, 2007). Sin embargo, bajo condiciones de temperaturas ambientales templadas y calientes Goulet (Goulet, Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: A metaanalysis, 2011) ha demostrado a través de un meta-análisis que la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio $\leq 4\%$ no perjudica el rendimiento de resistencia durante el ciclo de tiempo basados en ensayos de laboratorio que emulan las condiciones de ejercicio de la vida real. De particular importancia es que ninguno de los estudios incluidos en Goulet (Goulet, Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: A metaanalysis, 2011) mostró un deterioro estadísticamente significativo en el rendimiento de ciclismo en ensayos de laboratorio con la pérdida del peso corporal inducida por el ejercicio (Kay & Marino, 2003) (Robinson, y otros, 1995) (Bachle, Eckerson, Albertson, Ebersole, Goodwin, & Petzel, 2001) (Backx, Van Someren, & Palmer, 2003) (Dugas, Oosthuizen, Tucker, & Noakes, 2009).

A pesar de los beneficios propuestos de mantener la pérdida de peso corporal inducido por el ejercicio en $< 2\%$, las competiciones de la vida real se asocian con altas velocidades relativas y absolutas que impiden a los corredores de distancia poder beber un volumen suficiente de líquido para mantener la hidratación adecuada. En

lugar de tratar de aumentar el consumo de líquidos durante el ejercicio, que podría ser más sabio para los corredores a hiper- hidratarse antes de hacer ejercicio.

HIDRATACIÓN

El agua es un elemento importante de la composición corporal ya que participa en las reacciones celulares, como medio de reacción, reactivo o producto. Además, participa en el transporte de nutrientes, gases y productos de desecho metabólico. El agua posee propiedades térmicas: durante el ejercicio, a pesar de que la contracción muscular genera mucho calor, la temperatura corporal aumenta poco. La alta conductividad térmica del agua facilita un rápido transporte de calor hacia la piel logrando enfriar rápidamente el cuerpo, evaporando el sudor, eliminando vapor con el aire espirado o directamente por la piel a través de la sudoración insensible (Willmore & Costill, 1999) (Barbany, 2002)

El calor metabólico generado por el ejercicio puede ser disipado para mantener la temperatura corporal dentro de los estrechos límites fisiológicos. Cuando la temperatura ambiental excede de la temperatura de la piel, la pérdida de calor sólo puede ocurrir por la evaporación del sudor en la superficie de la piel. La producción significativa de sudor también ocurrirá en ambiente frío si la cuantía de trabajo es alta. La tasa de sudor que excede de los 2 litros por hora puede mantenerse durante varias horas en personas entrenadas y aclimatadas para realizar ejercicios en ambiente caluroso y húmedo. La pérdida de masa corporal en maratonistas puede oscilar entre el 1 y el 6% (0,7- 4,2 kg de masa corporal en un hombre de 70 kg) a baja temperatura

ambiental (10 °C) hasta más del 8% (5,6 kg) en ambiente caluroso (Maughan & Shirreffs, 1998).

El ejercicio prolongado en un ambiente caluroso/húmedo disminuye la capacidad de perder calor por radiación/convección y evaporación, respectivamente, ocasionando un aumento de la temperatura corporal y una mayor sudoración, produciéndose los siguientes fenómenos: a) disminución de la ejecución (rendimiento) del ejercicio; b) aumento de la temperatura corporal (hipertermia), que produce una alteración del sistema nervioso central (SNC) con la consiguiente disminución de la capacidad de ejecución motora del ejercicio; c) disminución del flujo sanguíneo muscular y un aumento del flujo sanguíneo cutáneo; d) aumento del consumo de glucógeno muscular; e) aumento de la producción de ácido láctico (acidosis) y f) fatiga muscular (Barbany, 2002) (McArdle, Katch, & Katch, 2001).

La aclimatación al calor produce una serie de cambios encaminados a minimizar las alteraciones en la homeostasis debido al estrés por el calor. La aclimatación al calor trae como consecuencia las siguientes adaptaciones: un aumento del volumen plasmático (10-12%); un inicio más rápido de la sudoración, así como un aumento de la capacidad de sudoración; una disminución de la pérdida de sal (cloruro sódico) por el sudor; un aumento del flujo sanguíneo muscular junto con una disminución del flujo sanguíneo cutáneo, y, por último, un aumento de la producción de las “proteínas de estrés” que son sintetizadas en respuesta al estrés celular (calor, acidosis, etc.). Estas proteínas protegen a la célula de la agresión térmica, intervienen en el desarrollo de la termo tolerancia y en la protección celular frente a las cargas de calor debido al ejercicio prolongado (Locke & Nobre, 2002). La completa aclimatación al calor se logra

en una o dos semanas, mientras que la pérdida de la aclimatación es rápida después de unos pocos días de inactividad (falta de exposición al calor): comienza a declinar al cabo de una semana y es completa a las 4 semanas.

El intercambio libre de agua entre los compartimentos de líquido corporal asegura que el contenido de agua del sudor deriva de todos los compartimentos. La distribución está influida por la tasa de sudor, la composición del sudor y la pérdida de agua total y electrolitos. Costill et al (Costill, Cote, & Fink, 1976) provocaron la deshidratación en sujetos en sucesivas etapas mediante ejercicios en bicicleta y exposición al calor. A bajos niveles de pérdida de agua corporal (3%), la pérdida de agua provino en gran medida del espacio extracelular; a medida que se incrementaba la pérdida de agua, un gran porcentaje de la pérdida provenía del espacio intracelular. El largo tiempo transcurrido para alcanzar los grados más altos de pérdida de sudor provendrá de alguna redistribución del agua corporal. El sodio es el principal catión perdido por el sudor, con unas típicas pérdidas entre 40-60 mmol X litro, comparado con la pérdida entre 4-8 mmol x litro de potasio. Dada la pérdida de sodio más elevada y la distribución de estos cationes entre los compartimentos de agua corporal, es probable que la principal pérdida de agua provenga del espacio extracelular (Roses & Pujol, 2006).

EL AGUA

El agua es el principal componente del cuerpo humano. Es esencial para los procesos fisiológicos de la digestión, absorción y eliminación de desechos metabólicos no digeribles, y también para la estructura y función del aparato circulatorio. Actúa como

medio de transporte de nutrientes y todas las sustancias corporales, y tiene acción directa en el mantenimiento de la temperatura corporal. El cuerpo humano tiene un 75% de agua al nacer y cerca del 60% en la edad adulta. Aproximadamente el 60% de este agua se encuentra en el interior de las células (agua intracelular), el resto (agua extracelular) circula en la sangre y baña los tejidos (Iglesias, y otros, 2011).

El agua para beber, junto con la contenida en los alimentos, ha de garantizar nuestra correcta hidratación a cualquier edad o circunstancia vital (Jéquier & Constant, 2008). En consecuencia, es muy importante asegurar el aporte en cantidad y calidad adecuadas, especialmente cuando conocemos la influencia que el grado de hidratación puede tener sobre la salud y el bienestar de las personas, tanto en lo que se refiere a los aspectos cognitivos, el rendimiento físico y la termorregulación (Fernández-Martín & Benito Cannata-Andía, 2008).

Necesidades de agua

El cuerpo humano no almacena el agua, por eso, la cantidad que perdemos cada día debe restituirse para garantizar el buen funcionamiento del organismo. Para cualquier persona sana, la sed es una guía adecuada para tomar agua, excepto para los bebés, los deportistas y la mayoría de las personas ancianas y enfermas. En estos casos, conviene programar momentos para ingerir agua ya que ante la gran demanda y los mecanismos fisiológicos que determinan la sed en estas situaciones pueden condicionar desequilibrios en el balance hídrico con importantes consecuencias para la salud o el rendimiento físico o intelectual.

Nuestro organismo posee una serie de mecanismos que le permiten mantener

constante el contenido de agua, mediante un ajuste entre los ingresos y las pérdidas. El balance hídrico viene determinado por la ingestión (agua de bebida, líquidos, agua contenida en los alimentos) y la eliminación (orina, heces, a través de la piel y de aire espirado por los pulmones). El fallo de estos mecanismos y las consiguientes alteraciones del balance acuoso, pueden producir graves trastornos capaces de poner en peligro la vida del individuo (Water, 2005) (tabla I) .

Tabla I ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS MÍNIMAS DIARIAS DE AGUA Y SU PRODUCCIÓN

Referencia	Detalle	Pérdidas (ml)	Producción (ml)
Hoyt & Honing, 1996	Pérdidas respiratorias	-250 a -350	
Adolf, 1947	Pérdidas urinarias	-500 a 1000	
Newburgh et al., 1930	Pérdidas fecales	-100 a -200	
Kuno, 1956	Pérdidas inconscientes	-450 a -1900	
Hoyt & Honing, 1996	Producción metabólica		+250 a +350
	TOTAL	-1300 a -3450	+250 a +350
	Pérdidas Netas	-1050 a -3100	

Fuente: Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate. The National Academy Press, Washington, 2005.

Los líquidos (agua y otras bebidas) proporcionan habitualmente entre 2,2 y 3 litros al día (Popkin, Armstrong, Bray, Caballero, Frei, & Willen, 2006). En situaciones especiales y durante un tiempo limitado el organismo puede sobrevivir con cantidades

ligeramente menores de agua, debido por una parte al amplio intervalo de la recomendación y por otra a los sistemas eficaces de adaptación y ahorro de agua con los que cuenta el cuerpo humano. Asimismo, es posible que las personas que son físicamente activas, enfermas o que están expuestas a un ambiente caluroso requieran mayores aportes de agua total.

Los individuos sanos disponen de mecanismos eficaces para eliminar el exceso de agua y mantener así el equilibrio hídrico, por lo que para el agua no se ha establecido una ingestión máxima tolerable. Pero no es imposible que el agua provoque toxicidad aguda y de hecho puede darse tras un consumo rápido de grandes cantidades de fluidos (0,7-1 litros por hora) que puedan exceder los valores máximos de eliminación renal.

Agua corporal

El agua corporal total (ACT), que incluye el líquido extracelular e intracelular representa aproximadamente el 55-60% del peso corporal total, aunque varía con la edad (tabla II). Los atletas tienen un contenido relativamente alto de agua corporal, debido sobre todo a su elevada masa magra, su baja proporción de grasa y su elevado contenido de glucógeno muscular ya que, como sabemos 1 gramo de glucógeno se almacena junto a aproximadamente 2,7 mL de agua, debido a la presión osmótica ejercida por los gránulos de glucógeno en el sarcoplasma (Neufer, Sawka, Young, Quigley, Latzka, & Levine, 1991).

Tabla II. PROPORCIÓN DE AGUA CORPORAL COMO PORCENTAJE DEL PESO CORPORAL

	Agua	Grasa y sólidos secos (%)
Lactante prematuro de 28 semanas (1,2 kg)	81	19
Lactante a término (3,6 kg)	69	31
Niño de 1 año (10 kg)	60	40
Mujer adulta (60 kg)	48,6	51,4
Varón adulto (70 kg)	54,3	45,7

Fuente: Importancia del agua en la hidratación de la población española: documentoFESNAD2010

Masa magra. El porcentaje de agua del peso corporal varía con la edad (tabla II) y está directamente relacionado con la proporción de tejido muscular. De este modo, el organismo de un atleta contiene mayor cantidad de agua que el de una persona sedentaria, y al avanzar en edad disminuye el contenido de agua al reducirse la masa muscular. Al aumentar el contenido graso, como ocurre en la obesidad, disminuye la fracción acuosa del tejido adiposo (Martin, Daniel, Drinkwater, & Clarys, 1994). Hay que tener en cuenta que existe una variabilidad individual en lo que respecta a la hidratación de la masa magra, manteniéndose sus valores relativamente estables aunque aumente la edad. Ni la raza ni el sexo modifican la hidratación de la masa magra (Baumgartner, Stauber, McHugh, Koehler, & Garry, 1995).

Distribución. Un hombre de 70 kilos, tendrá aproximadamente 42 litros de agua total

corporal, 28 litros como agua intracelular y 14 litros como agua extracelular, de los cuales aproximadamente 3 litros serán de plasma y otros 11 litros serán fluidos intersticiales. Situaciones como el ejercicio, la exposición al calor, la fiebre, la diarrea, los traumas y las quemaduras dérmicas puede afectar extremadamente al volumen hídrico y al índice de renovación en estos compartimentos.

Consumo. El agua total ingerida procede de los alimentos (aproximadamente el 28%), del agua bebida (28%) y el 44% restante de otras bebidas. Es decir, aproximadamente, el 20-30% del agua procedería de los alimentos y el 70-80% restante de diferentes líquidos. Estas cifras pueden variar mucho según los hábitos de la población. La ingestión de líquidos por parte de adultos sanos puede cambiar ampliamente dependiendo de su nivel de actividad, de las condiciones ambientales, de la dieta y de las actividades laborales o sociales. La importancia de otros factores, como los sociales o los psicológicos, que pueden influir sobre la conducta humana a la hora de beber no está del todo aclarada.

La sed

La sed es el deseo de beber, inducido por razones fisiológicas y conductuales, resultante de una deficiencia de agua que permite a las personas recuperar sus pérdidas de fluidos durante cortos períodos de tiempo. A pesar de poder beber ad libitum, las personas tienden a cubrir de forma insuficiente sus necesidades de líquido a corto plazo. El inicio de la sed tiene lugar a través de mecanismos fisiológicos y relacionados con la percepción. La ingestión voluntaria de una bebida está condicionada por diferentes factores como su palatabilidad (Boulze, Montastruc, &

Cabanac, 1983), la cual viene determinada por el color, sabor, olor y temperatura, e incluso las preferencias culturales. La sed puede aparecer con una pérdida de tan solo el 2% del peso corporal.

Parecen existir tres principales disparadores fisiológicos para la sed: los osmorreceptores cerebrales, los osmorreceptores extra cerebrales y los receptores de volumen.

La sed se estimula cuando disminuye el volumen celular o el espacio extracelular. La intracelular aparece cuando se crea una hiperosmolalidad plasmática que se compensa con la salida de agua de las células. Los osmorreceptores de las células de la hipófisis lo detectan, así como otros receptores parecidos que inducen la producción de hormona antidiurética (ADH). De este modo, se activan dos mecanismos relativamente diferenciados, uno que activa (la sed) y otro que evita el escape (renal). Estos mecanismos pueden compensarse entre sí cuando uno de los dos falla. En la diabetes insípida la deficiencia de vasopresina produce grandes pérdidas de orina muy diluida que el mecanismo de la sed trata de compensarlo. En la diabetes mellitus hay una gran diuresis osmótica por exceso de azúcar y aparece también la sed para compensarla. Cuando hay hemorragia, diarrea o sudoración intensa disminuye el volumen extracelular y los vasorreceptores lo detectan y envían la señal de sed extracelular al cerebro. Estos vasorreceptores se encuentran fundamentalmente en la pared de la aurícula izquierda y también activan la producción de ADH. La señal enviada por los citados receptores se suma a la señal enviada por la señal intracelular.

Si la sed se agrava, otros receptores, unos barorreceptores renales, sensibles a

cambios de presión, aumentan la secreción de renina y ésta la de aldosterona (disminuye la pérdida renal de sodio y la diuresis) y de angiotensina, que también provoca el aumento de la producción de ADH.

Hay un mecanismo de anticipación para evitar la deshidratación. La sed cesa muy rápidamente al beber. Cuando el agua aún está en el estómago, desde allí e incluso desde la lengua se envía la señal de rehidratación al cerebro, anticipando de 10 a 20 minutos la dilución sanguínea. Si hay un sobrecalentamiento térmico inmediatamente se inicia la sudoración. Si el déficit de agua es moderado (200 mL/h) se podrán cubrir las necesidades hídricas, pero si la deficiencia aumenta, la ingestión será menos eficaz, ya que la absorción digestiva del agua no puede ser superior a 800 mL/h. Una forma de intentar acelerar la absorción del agua es añadirle glucosa y sodio.

DESHIDRATACIÓN

Una deficiencia de agua de tan sólo un 1% del peso corporal se ha relacionado con una elevación de la temperatura corporal durante el ejercicio (Ekblom, Greenleaf, Greenleaf, & Hermansen, 1970). Se calcula que la temperatura corporal se incrementa desde los 0,1 °C hasta los 0,23 °C por ese 1% de pérdida de peso corporal (Montain, Sawka, Latzka, & Valeri, 1998). La deshidratación no sólo aumenta la temperatura corporal, sino que además reduce alguna de las ventajas térmicas relacionadas con el ejercicio físico aeróbico y con la habituación al calor. Así, la sudoración localizada y el flujo de sangre en la piel disminuyen cuando una persona está deshidratada. En consecuencia la deshidratación reduce el dintel de la temperatura corporal que una

persona podría tolerar.

Como ya se ha indicado la sed aparece con una pérdida de tan solo el 2% del peso corporal. La deshidratación a partir de un 2% del peso corporal no sólo produce sed y una disminución del rendimiento deportivo, sino que también afecta al rendimiento intelectual (memoria a corto plazo, atención, fatiga, facultades aritméticas, rapidez psicomotriz, rapidez de decisiones perceptivas, etc). La deficiencia de agua además puede empeorar el proceso digestivo, aumentar la probabilidad de tener infecciones y reacciones alérgicas, provocar dolor de espalda, cabeza y articulaciones. Frente a una deshidratación, deben reponerse gradualmente las aportaciones hídricas, con la ingesta repetida de pequeñas tomas de alimentos de gran contenido hídrico, infusiones y agua. También pueden utilizarse soluciones de rehidratación (Iglesias, et al., 2011).

Conforme aumenta la deshidratación, la sintomatología se va incrementando hasta llegar al colapso e incluso la muerte (tabla III) (Iglesias, et al., 2011). La deshidratación aumenta el esfuerzo cardiovascular. El cuerpo humano puede llegar a perder hasta el 10% del peso corporal en forma de agua con un posible pequeño aumento de la mortalidad, excepto si la deshidratación está acompañada de otros fenómenos de estrés orgánico. Deshidrataciones superiores al 10% del peso corporal requieren asistencia médica para poder recuperarse. A partir de este punto, la temperatura del cuerpo aumenta rápidamente y a menudo conduce a la muerte. La deshidratación contribuye a poner la vida en peligro en caso de golpe de calor. Es importante tener en cuenta que la combinación de dietas severas y de ejercicio intenso, realizado en ambientes cálidos, puede conducir a la muerte por parada cardiorrespiratoria (Manz, 2007).

Tabla III. EFECTOS ADVERSOS DE LA PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL EJERCICIO

1%	Umbral sensación de la sed. Si la termorregulación esta alterada existe disminución de rendimiento físico.
2%	Mucha sed. Pérdida de apetito.
3%	Boca seca. Incremento hemoconcentración. Reducción excreción renal.
4%	Reducción (20- 30%) del rendimiento físico.
5%	Dificultad de concentración, dolor de cabeza, impaciencia y sueño.
6%	Alteración grave de la termorregulación. Incremento ritmo respiratorio durante el ejercicio. Hormigueo y adormecimiento de extremidades.
7%	Posible colapso si el ejercicio se combina con calor

Fuente: Importancia del agua en la hidratación de la población española: documentoFESNAD2010

Hemos visto la importancia de mantener una hidratación adecuada en un adulto sano. Ahora bien, a lo largo de la vida hay múltiples situaciones que hacen que estas recomendaciones puedan ser excesivas o insuficientes. Es evidente que el aporte total de agua que requiere un lactante será muchísimo menor, aunque la cantidad de agua por kilo de peso sea sensiblemente mayor que para un adulto. En el embarazo, durante la lactancia, en el anciano, en el deportista o en la enfermedad los requerimientos y las recomendaciones de agua serán sensiblemente diferentes a las de los adultos sanos (Iglesias, et al., 2011).

La deshidratación es un factor importante en el descenso del rendimiento deportivo. Existe un conjunto de factores que concurren de manera aislada o combinada, como son, un vaciamiento gástrico reducido (Gant, Leiper, & Williams, 2007) y una mayor incidencia de dolor gastrointestinal (Morton, Aragón-Vargas, & Callister, 2004); aumento de los niveles plasmáticos de angiotensina y vasopresina (Shirreffs, Merson, Fraser, & Archer, 2004); disminución del volumen plasmático y aumento de la osmolalidad y de la viscosidad sanguínea (Shirreffs, Aragon-Vargas, Keil, Love, & Phillips, 2007). Existe, asimismo, una disminución de la presión venosa central junto a un aumento de la temperatura a la que comienza la sudoración, comprometiendo su efecto termorregulador al reducirse la producción de sudor y el flujo de sangre a la periferia en un esfuerzo por mantener la presión venosa central (Armstrong & Maresch, 1998). Finalmente, cuando a la hipo- hidratación se le añade la restricción de alimentos, el glucógeno muscular desciende hasta el 45%, lo que supone un notable desafío al proceso de la contracción muscular (Cheuvront, Montain, & Sawka, 2007).

Como ya se ha descrito la deshidratación durante el ejercicio puede aumentar la temperatura corporal más rápidamente, produciendo estrés térmico y cardiovascular, lo cual afecta negativamente la salud y el rendimiento deportivo; esto puede ocurrir incluso cuando una persona presenta una deshidratación moderada del 2% del peso corporal (Montain & Coyle, Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise, 1992); la magnitud de dichas alteraciones es proporcional al déficit de líquidos. Aunque las personas intenten beber durante el ejercicio, a menudo incurren en cierto grado de deshidratación, que necesita ser corregido lo más pronto posible (Burke, 1996). Esta deshidratación promedio está

típicamente entre 1 y 2% del peso corporal (Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, & Stachenfeld, 2007).

El objetivo de la rehidratación post ejercicio es entonces recuperar el balance de fluidos, para evitar los efectos negativos de una disminución en el agua corporal total sobre las funciones fisiológicas y el rendimiento físico en un evento deportivo próximo. Aunque el ideal sería lograr una rehidratación completa, está bien documentado que la rehidratación agresiva provoca una producción de volúmenes importantes de orina, aún en presencia de hipo- hidratación (Mayol-Soto & Aragón-Vargas, 2009) y de cantidades altas de sodio en la bebida (Shirreffs & Maughan, Volume repletion following exercise-induced volume depletion in man: replacement of water and sodium losses, 1998).

Se trata de una paradoja: contrario a lo que se esperaría al intentar recuperar la homeostasis, la persona deshidratada, al ser rehidratada agresivamente, responde eliminando parte del líquido suministrado, lo cual la hace continuar deshidratada unas pocas horas después. Como lo han señalado bien Jones et al. (Jones, Bishop, Green, & Richardson, 2010), este desperdicio de líquido no es deseable, particularmente cuando la persona tiene un suministro limitado como en las operaciones militares o en otros sitios donde el agua potable no está ampliamente disponible.

Para compensar la eliminación adicional de fluido a través de la orina, una estrategia recomendada es consumir un volumen de líquido equivalente a un 125%-150% del peso perdido (Casa, Clarkson, & Roberts, 2005). Se ha encontrado además que la presencia de sales minerales ayuda a contribuir a un mejor aprovechamiento del líquido, especialmente a concentraciones superiores a los 50 mEq de sodio/L (Shirreffs,

Armstrong, & Cheuvront, Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition, 2004) (Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, & Stachenfeld, 2007). Se ha investigado la combinación de diferentes volúmenes de líquido y distintas concentraciones de electrolitos, demostrando el importante papel que juega el sodio en la conservación del líquido consumido, aunque se reconoce a la vez que las concentraciones altas de sodio (50-60 mEq/L o superiores) tienen un impacto negativo sobre la palatabilidad de la bebida (Shirreffs, Taylor, Leiper, & Maughan, 1996) (Mitchell, Phillips, Mercer, Baylies, & Pizza, 2000). No es sino hasta la última década que se ha tratado de manipular el tiempo de ingesta del líquido de manera sistemática.

Varios investigadores han intentado amortiguar la diuresis no deseada mediante la manipulación de los volúmenes de rehidratación, con diferentes grados de éxito (Archer & Shirreffs, 2001) (Jones, Bishop, Green, & Richardson, 2010) (Kovacs, Schmahl, Denden, & Brouns, 2002) (Mayol-Soto & Aragón-Vargas, 2009). La estrategia consiste en suministrar volúmenes pequeños de líquido suficientemente espaciados en el tiempo, en un intento por evitar la expansión rápida del volumen plasmático, limitando así el estímulo renal que provoca la eliminación excesiva de orina. La Declaración del Colegio Americano de Medicina Deportiva (Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain, & Stachenfeld, 2007) sugiere el consumo de 1.5 L de líquido por cada kg de peso perdido (150% del volumen perdido), ingiriendo siempre volúmenes pequeños espaciados en el tiempo, en lugar de grandes cantidades en periodos cortos, para promover una máxima conservación de líquidos, tal y como habían recomendado (Shirreffs & Maughan, Volume repletion following exercise-induced volume depletion in

man: replacement of water and sodium losses, 1998) aproximadamente diez años atrás.

Jones et al. (2010) demostraron que tiene sentido utilizar un volumen equivalente al 100% del peso perdido, si se quiere evitar el desperdicio de líquido. Además, un volumen menor va a ser más fácil de distribuir en el tiempo de tal manera que no haya demasiado estímulo para la diuresis; ellos demostraron que la eficiencia de la rehidratación fue superior cuando se utilizó un protocolo espaciado (medido), que cuando la rehidratación fue agresiva (Jones, Bishop, Green, & Richardson, 2010). Sin embargo, no está muy claro si la conservación del líquido que se ingiere varía cuando se toma un volumen definido en un mismo período de tiempo pero distribuido en proporciones diferentes.

Por su parte, durante la ingesta voluntaria de líquido en un medio natural, sería razonable esperar que la sed favoreciera una mayor ingesta inmediatamente después del ejercicio, pero un mayor volumen en ese momento estimularía un vaciamiento gástrico más rápido, una mayor expansión del volumen plasmático y una mayor respuesta diurética.

TERMORREGULACIÓN

TEMPERATURA CORPORAL NORMAL

El ser humano es un animal homeotermo que en condiciones fisiológicas normales mantiene una temperatura corporal constante y dentro de unos límites muy estrechos,

entre $36,6 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$, a pesar de las amplias oscilaciones de la temperatura ambiental. Esta constante biológica se mantiene gracias a un equilibrio existente entre la producción de calor y las pérdidas del mismo y no tiene una cifra exacta. Existen variaciones individuales y puede experimentar cambios en relación al ejercicio, al ciclo menstrual, a los patrones de sueño y a la temperatura del medio ambiente. La temperatura axilar y bucal es la más influida por el medio ambiente, la rectal puede ser modificada por el metabolismo del colon y el retorno venosos de las extremidades inferiores y la timpánica por la temperatura del pabellón auricular y del conducto auditivo externo. También existen diferencias regionales importantes, pudiendo encontrarse diferencias de hasta $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ entre la existente en los órganos centrales (corazón, cerebro y tracto gastrointestinal) y las puntas de los dedos (Rodbard, 1981) (Lloret Carbó, Santaló Bel, Ris Romeu, Domingo Pedrol, & Net Castel, 1987). La medición más fiable es la tomada en el esófago (en su cuarto inferior), siendo ésta especialmente útil en las situaciones de hipotermia, ya que presenta la ventaja de modificarse al mismo tiempo que la de los territorios más profundos del organismo (Emslie-Smith, Lightbody, & Mac Lean, 1983). Recientes trabajos realizados sobre pacientes hipotérmicos víctimas de sepultamiento por avalanchas han demostrado también la utilidad de la medición de la temperatura timpánica en estas situaciones (Durrer & Brugger, 1995) (Brugger, Durrer, & Adler-Kastner, 1996).

CONTROL DE LA TEMPERTURA CORPORAL

El mantenimiento de una temperatura corporal dentro de los límites anteriormente expuestos solo es posible por la capacidad que tiene el cuerpo para poner en marcha

una serie de mecanismos que favorecen el equilibrio entre los que facilitan la producción de calor y los que consiguen la pérdida del mismo. Estos mecanismos se exponen a continuación.

MECANISMOS DE PRODUCCION DE CALOR

Las principales fuentes de producción basal del calor son a través de la termogénesis tiroidea y la acción de la trifosfatasa de adenosina (ATPasa) de la bomba de sodio de todas las membranas corporales (Isselbacher, Braunwald, Wilson, Martin, Fauci, & Kasper, 1994). La ingesta alimentaria incrementa el metabolismo oxidativo que se produce en condiciones basales. Estos mecanismos son obligados en parte, es decir, actúan con independencia de la temperatura ambiental, pero en determinadas circunstancias pueden actuar a demanda si las condiciones externas así lo exigen (Lloret Carbó, Santaló Bel, Ris Romeu, Domingo Pedrol, & Net Castel, 1987).

La actividad de la musculatura esquelética tienen también una gran importancia en el aumento de la producción de calor. La cantidad de calor producida puede variar según las necesidades. Cuando está en reposo contribuye con un 20%, pero durante el ejercicio esta cifra puede verse incrementada hasta 10 veces más (Emslie-Smith, Lightbody, & Mac Lean, 1983). El escalofrío es el mecanismo más importante para la producción de calor y este cesa cuando la temperatura corporal desciende por debajo de los 30°C. El metabolismo muscular aumenta la producción de calor en un 50% incluso antes de iniciarse el escalofrío, pero cuando éste alcanza su intensidad máxima

la producción corporal de calor puede aumentar hasta 5 veces lo normal (Cabanac, 1975).

Otro mecanismo de producción de calor es el debido al aumento del metabolismo celular por efecto de la noradrenalina y la estimulación simpática. Este mecanismo parece ser proporcional a la cantidad de grasa parda que existe en los tejidos. El adipocito de la grasa, que posee una rica inervación simpática, puede ser activado por los estímulos procedentes del hipotálamo y transmitidos por vía simpática con producción de noradrenalina, la cual aumenta la producción de AMP-cíclico, que a su vez activa una lipasa que desdobla los triglicéridos en glicerol y ácidos grasos libres. Estos pueden volver a sintetizar glicéridos o bien ser oxidados con producción de calor (Doniach, 1975). Este mecanismo, que tiene una importancia relativa en el adulto por su escasa cantidad de grasa, no es así en los recién nacidos y lactantes donde tiene una importancia capital, ya que la grasa puede llegar a suponer hasta un 6% de su peso corporal y son incapaces de desarrollar escalofríos o adoptar una postura protectora ante el frío.

El calor absorbido por la ingesta de alimentos y bebidas calientes también puede producir un mínimo aumento de calor, lo mismo que las radiaciones captadas por el cuerpo y procedentes fundamentalmente del sol (ultravioletas) o de lugares próximos (infrarrojos) (Emslie-Smith, Lightbody, & Mac Lean, 1983).

MECANISMOS DE PERDIDA DE CALOR

El calor del cuerpo se pierde por radiación, convección, conducción y evaporación y pueden explicarse de la manera siguiente (Reuler, 1978).

Radiación

La pérdida de calor por radiación significa pérdida de calor en forma de rayos infrarrojos, que son ondas electromagnéticas. Es decir, existe un intercambio de energía electromagnética entre el cuerpo y el medio ambiente u objetos más fríos y situados a distancia. La cantidad de radiación emitida varía en relación al gradiente que se establece entre el cuerpo y el medio ambiente. Hasta el 60% de la pérdida de calor corporal puede tener lugar por este mecanismo.

Convección

Es la transferencia de calor desde el cuerpo hasta las partículas de aire o agua que entran en contacto con él. Estas partículas se calientan al entrar en contacto con la superficie corporal y posteriormente, cuando la abandonan, su lugar es ocupado por otras más frías que a su vez son calentadas y así sucesivamente. La pérdida de calor es proporcional a la superficie expuesta y puede llegar a suponer una pérdida de hasta el 12%.

Conducción

Es la pérdida de pequeñas cantidades de calor corporal al entrar en contacto directo la superficie del cuerpo con otros objetos más fríos como una silla, el suelo, una cama, etc. Cuando una persona desnuda se sienta por primera vez en una silla se produce inmediatamente una rápida conducción de calor desde el cuerpo a la silla, pero a los pocos minutos la temperatura de la silla se ha elevado hasta ser casi igual a la

temperatura del cuerpo, con lo cual deja de absorber calor y se convierte a su vez en un aislante que evita la pérdida ulterior de calor. Habitualmente, por este mecanismo, se puede llegar a una pérdida de calor corporal del 3%. Sin embargo, este mecanismo adquiere gran importancia cuando se produce una inmersión en agua fría, dado que la pérdida de calor por conductividad en este medio es 32 veces superior a la del aire.

Evaporación

Es la pérdida de calor por evaporación de agua. En lo dicho anteriormente sobre la radiación, convección y conducción observamos que mientras la temperatura del cuerpo es mayor que la que tiene el medio vecino, se produce pérdida de calor por estos mecanismos. Pero cuando la temperatura del medio es mayor que la de la superficie corporal, en lugar de perder calor el cuerpo lo gana por radiación, convección y conducción procedente del medio vecino. En tales circunstancias, el único medio por el cual el cuerpo puede perder calor es la evaporación, llegando entonces a perderse más del 20% del calor corporal por este mecanismo. Cuando el agua se evapora de la superficie corporal, se pierden 0,58 calorías por cada gramo de agua evaporada. En condiciones basales de no sudoración, el agua se evapora insensiblemente de la piel y los pulmones con una intensidad de 600 ml al día, provocando una pérdida continua de calor del orden de 12 a 16 calorías por hora. Sin embargo, cuando existe una sudoración profusa puede llegar a perderse más de un litro de agua cada hora. El grado de humedad del aire influye en la pérdida de calor por sudoración y cuanto mayor sea la humedad del medio ambiente menor cantidad de calor podrá ser eliminada por este mecanismo. Con la edad aparece una mayor dificultad para la

sudoración, con la consiguiente inadaptación a las situaciones de calor (Collins, Dore, Exton-Smith, MacDonald, & Woodward, 1977), hecho similar que se reproduce en algunas personas con alteración de las glándulas sudoríparas (Martinez, Galcerá, Alonso, Ramos, & Abel, 1983) (Felices, Martinez, Castillo, Gómez, Cantón, & Abel, 1984). Por contra, existen determinadas enfermedades de la piel que favorecen la pérdida de agua a través de la misma (Grice & Bettley, 1967).

MECANISMOS MODERADORES DE PRODUCCION Y PERDIDA DE CALOR

Están basados fundamentalmente en la capacidad intelectual mediante la cual se modifica la vestimenta, se aumenta o disminuye la actividad física y se busca un medio ambiente confortable en relación a la temperatura ambiental. Otro mecanismo muy desarrollado en los animales, como la erección pilosa, apenas tiene importancia en el hombre como mecanismo moderador del calor corporal (Emslie-Smith, Lightbody, & Mac Lean, 1983).

REGULACION CENTRAL DE LA TEMPERATURA. EL “TERMOSTATO HIPOTALAMICO”

El control de la temperatura corporal, que integra los diferentes mecanismos de producción y pérdida de calor con sus correspondientes procesos físicos y químicos, es una función del hipotálamo. En concreto, en la región preóptica del hipotálamo anterior se ha situado al centro que regula el exceso de calor y en el hipotálamo posterior al centro de mantenimiento del calor que regula el exceso de frío y la pérdida de calor.

Esta teoría dualista es bastante simplista para ser plenamente aceptada y, al parecer, existen complejos y múltiples circuitos entre estos dos centros hipotalámicos. No obstante, el sistema regulador de la temperatura es un sistema de control por retroalimentación negativa y posee tres elementos esenciales (Isselbacher, Braunwald, Wilson, Martin, Fauci, & Kasper, 1994): 1) receptores que perciben las temperaturas existentes en el núcleo central; 2) mecanismos efectores que consisten en los efectos metabólicos, sudomotores y vasomotores; 3) estructuras integradoras que determinan si la temperatura existente es demasiado alta o demasiado baja y que activan la respuesta motora apropiada.

Gran parte de la señales para la detección del frío surgen en receptores térmicos periféricos distribuidos por la piel y en la parte superior del tracto gastrointestinal. Estos receptores dan origen a estímulos aferentes que llegan hasta el hipotálamo posterior y desde allí se activa el mecanismo necesario para conservar el calor: vasoconstricción de la piel por aumento de la actividad simpática y piloerección (de escasa importancia). Cuando el hipotálamo posterior no recibe estímulos de frío cesa la vasoconstricción simpática y los vasos superficiales se relajan. Si la temperatura es muy baja y es necesario aumentar la producción de calor, las señales procedentes de los receptores cutáneos y medulares estimulan el "centro motor primario para el escalofrío", situado en la porción dorsomedial del hipotálamo posterior, cerca de la pared del tercer ventrículo, y de allí parten toda una serie de estímulos que aumentan progresivamente el tono de los músculos estriados de todo el organismo y que cuando alcanza un nivel crítico dan origen el escalofrío. Además, el enfriamiento del área preóptica del hipotálamo hace que el hipotálamo aumente la secreción de la hormona liberadora de

la tirotropina (TRH), ésta provoca en la adenohipófisis una liberación de la hormona estimuladora del tiroides o tirotropina (TSH), que a su vez aumenta la producción de tiroxina por la glándula tiroides, lo que estimula el metabolismo celular de todo el organismo y aumenta la producción de calor (Isselbacher, Braunwald, Wilson, Martin, Fauci, & Kasper, 1994) (Cabanac, 1975) (Guyton & Hall, 2006).

Cuando se calienta el área preóptica, el organismo comienza de inmediato a sudar profusamente y al mismo tiempo se produce una vasodilatación en la piel de todo el cuerpo. En consecuencia, hay una reacción inmediata que causa pérdida de calor y ayuda al organismo a recuperar su temperatura normal (Guyton & Hall, 2006) (Isselbacher, Braunwald, Wilson, Martin, Fauci, & Kasper, 1994).

En definitiva, el centro de regulación de la temperatura está situado en el hipotálamo que parece ser el integrador común de la información aferente y eferente. El hipotálamo no sólo es sensible a los impulsos neuronales eferentes, sino también directamente a las alteraciones térmicas. Incluso en temperaturas ambientales normales, si se coloca una sonda en el hipotálamo de un animal de experimentación y se enfría, el animal responderá con vasoconstricción periférica y escalofrío (Hensel, 1973).

También se ha descrito, que las monoaminas pueden convertirse en moduladores del termostato hipotalámico (Hardy, Gagge, & Stolwijk, 1970). Feldberg y Myers (Feldberg & Myers, 1963), ya en 1963 describieron la importancia que las aminas pueden llegar a tener en la regulación hipotalámica. Experimentos en animales han demostrado cambios de temperatura cuando se inyectan aminas como la levodopa o la dopamina en el tercer ventrículo, adyacente al hipotálamo (Hardy, Gagge, & Stolwijk, 1970). En

las ratas, por ejemplo, inyecciones de 5-hidroxitriptófano, dopamina, levodopa o apomorfina producen hipotermia, mientras inyecciones de noradrenalina, adrenalina o isoproterenol producen hipertermia (Cox, Kerwin, & Lee, 1978). Sin embargo las respuestas pueden variar según la especie animal de que se trate (Metcalf & Myers, 1978). En los humanos, descensos de los niveles dopaminérgicos pueden producir hipotermia (Caroff, 1980) (Sechi, Tanda, & Mutani, 1984). Los papeles que puedan desarrollar agentes como el 5-hidroxitriptófano, la histamina o la adrenalina está todavía por dilucidar (Rippe, Irwin, Fink, & Cerra, 1996).

PORCENTAJE DE GRASA

La presencia de grasa corporal en el atleta es necesaria, ya que un bajo porcentaje de grasa corporal se asocia con un deterioro en la salud y el rendimiento deportivo. Entre los hombres, los deportistas que tienen un menor porcentaje de grasa corporal (menos de un 6%) son los corredores de media y larga distancia y los culturistas en período de competición. Les siguen los jugadores de baloncesto, ciclistas, luchadores, velocistas, gimnastas, triatletas y saltadores, con un porcentaje de grasa corporal entre el 6 y el 15%. Por último, con un porcentaje de grasa corporal entre el 6 y el 19% estarían los futbolistas, jugadores de rugby y de jockey sobre hielo. En cuanto a las mujeres, las que tienen porcentajes de grasa corporal más bajos (6-15%) son las culturistas, ciclistas, triatletas y corredoras. Les seguirían con un porcentaje de grasa corporal entre el 10 y 20% las jugadoras de tenis, esquiadoras, jugadoras de fútbol, jugadoras de tenis, nadadoras y jugadoras de voleibol (Houtkooper LB, 1994). Se estima que el

porcentaje de grasa corporal mínimo compatible con un buen estado de salud es del 5% en los hombres y del 12% en las mujeres. No obstante, los niveles óptimos de grasa corporal que permitan un buen rendimiento deportivo deberían valorarse individualmente en cada caso. Esto es de vital importancia, ya que los atletas con niveles de grasa corporal inapropiados pueden estar sufriendo trastornos de la alimentación y otros problemas de salud derivados de una pobre ingesta energética y de nutrientes (Pérez, 2009) .

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

OBJETIVO GENERAL

Relacionar la hiper- hidratación y la eu-hidratación pre-ejercicio en el rendimiento físico en condiciones de altura.

HIPOTESIS GENERAL

La hiper- hidratación durante el pre-ejercicio, no altera el rendimiento de carrera en condiciones de altura en la ciudad de Quito (2800m sobre el nivel del mar), en deportistas altamente entrenados.

INSTRUMENTOS

- Cinta sin fin Treadmill. Permite realizar pruebas de carrera constante en laboratorio.
- Pulsómetro Polar FT 4. Mide la frecuencia cardiaca en latidos por minuto.
- Balanza personal Tanita Modelo UM- 041F. Capacidad de 150 kg (330lb) Permite obtener el peso corporal, porcentaje de grasa corporal y porcentaje de agua total corporal mediante impedancia bioeléctrica.
- Refractómetro médico digital de bolsillo orina S.G PAL-10S. Mide la gravedad específica de la orina en rangos de 1,000 g/ml -1 a 1,060 g/ml-1, y con un rango de temperatura entre 10,0 a 35,0 grados.

- Termómetro de oído Braun ThermoScan, Mide el calor infrarrojo desprendido por el tímpano y el tejido adyacente.

MÉTODO

Se contó con la participación de diez atletas (individuos considerados saludables, que realizan entrenamiento de atletismo de manera constante, que participan en competencias de fondo y medio fondo) aclimatados a la altura del Distrito Metropolitano de Quito de 2800m, quienes aceptaron participar en este estudio. Los sujetos fueron evaluados los primeros meses del año y se encontraban en fase inicial de su preparación para el año de competencias. Los procedimientos y riesgos del estudio se explicaron a los diez voluntarios y se obtuvo el consentimiento informado por escrito.

Información general sobre el Estudio

Después de una visita preliminar y una fase de familiarización, los sujetos fueron sometidos a dos momentos del estudio, comenzaron ya sea en un estado de hiperhidratación o eu- hidratación, los mismos se llevaron a cabo de un modo aleatorio. Después de su llegada al laboratorio, los participantes de forma pasiva esperaban la eu-hidratación o hiper- hidratación durante un periodo de 110 minutos, después de lo cual se sometieron a correr 18 kilómetros (que comprende un total de 480 m de escalada vertical) en una caminadora motorizada en una temperatura entre los 16 a 20 grados centígrados dentro del laboratorio ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito. La distancia de 18 kilómetros es elegida basado en el protocolo de investigación del estudio realizado por Pierre-Yves Gigou y cols. (Gigou P. , Dion, Asselin, Berrigan, & E.d, 2012), quienes estimaron esa distancia, ya que los corredores bien entrenados

logran completar una media maratón en un tiempo estimado de 80 a 90 minutos. La prueba se realizó bajo condiciones de altura (2800m sobre el nivel del mar de la ciudad de Quito) ya que ningún estudio a nivel local, todavía ha evaluado el efecto de la pérdida de peso corporal y la resistencia.

Las pruebas preliminares

Cuatro a siete días antes de la prueba de familiarización, los sujetos se sometieron a una evaluación antropométrica siguiendo los lineamientos de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (I.S.A.K. por sus siglas en Inglés International Society for the Advancement of Kineantropometry) para obtener su altura, peso corporal, porcentaje de grasa y el porcentaje de hidratación. La altura se determina con una precisión de 0,5 cm con un estadiómetro de pared y con los sujetos que usan solamente los calcetines. El peso corporal, el porcentaje de grasa y el porcentaje de hidratación se midió sin ropa con una balanza digital de impedanciometría (TANITA, Estados Unidos) así como tomando todas las medidas del protocolo base del nivel II de I.S.A.K.

Protocolo pre- intervención

Durante el período de estudio (21-27 días), a los sujetos se les permitió continuar con su rutina de entrenamiento, pero se solicitó que se abstuvieran de ingerir sustancias diuréticas como el alcohol y la cafeína 24 horas antes de las tres pruebas a ejecutarse (prueba de familiarización y dos pruebas de carrera constante). También se les prohibió el entrenamiento de musculación de miembros inferiores durante 48 h antes de los ensayos. Para las últimas 24 horas antes de la prueba de familiarización, los sujetos

mantuvieron un registro de líquidos y la dieta, que se replica en las últimas 24 horas antes de los ensayos experimentales. Antes de la hora de acostarse y 90 minutos antes de su llegada al laboratorio en cada ensayo, los sujetos consumieron 500 ml de agua. Con el fin de garantizar un estado nutricional y hormonal similares antes de los ensayos, a los sujetos se les autorizó el consumo de una banana y/o una manzana hasta 120 min antes de presentarse en el laboratorio. Después de haber consumido la fruta, los sujetos se mantuvieron en ayunas (excepto para la ingesta de agua) hasta el comienzo de los ensayos funcionales.

Prueba de familiarización

De siete a diez días antes del primer experimento se llevó a cabo una prueba de familiarización para minimizar cualquier efecto de aprendizaje, familiarizar a los sujetos con las técnicas de medición y optimizar la estrategia de estimulación de los sujetos para los próximos dos ensayos experimentales. Los sujetos debían correr tan rápido como sea posible los 18 kilómetros bajo las mismas condiciones tanto de temperatura ambiente del laboratorio (16 a 20 grados centígrados), mientras usan la misma tecnología tanto en vestimenta como de dispositivos electrónicos con los que suelen entrenar y que se sienten cómodos para seguir los mismos procedimientos experimentales como durante los dos próximos momentos dentro del estudio.

Los períodos pre-ejercicio hiper- hidratación y eu- hidratación

A su llegada al laboratorio, los sujetos proporcionaron una muestra de orina para la evaluación de la gravedad específica de la orina (PAL-10S, Estados Unidos), se pesaron sin ropa con una balanza de precisión (TANITA, Estados Unidos). Después de

un período de descanso sentado 2-3 minutos, los sujetos calificaron si presentaban malestar abdominal. Entonces comenzó el período de 110 min para una eu-hidratación o hiper- hidratación.

Durante el período de hiper- hidratación, los sujetos tomaron un total de 26 ml de líquido / kg de peso corporal que contenía 130 mmol / L de solución de sodio (7,5 g de NaCl), y endulzada con aspartame con sabor artificial (5g / L) (Crystal Light, kraftfoods, Estados Unidos), manteniendo una velocidad de consumo de 6,5 ml / kg de peso corporal cada 20 min para los primeros 60 min. El diseño del protocolo de la hiper- hidratación se basó en que anteriormente Goulet et al (Goulet, Rousseau, Lamboley, Plante, & Dionne, 2008) ya lo realizó y no se asoció con algún efecto secundario adverso. Los sujetos debían beber cada volumen de líquido dentro de 5 minutos para estandarizar el tiempo de ponderación. Una solución de sodio se utiliza para inducir la hiper- hidratación ya que el uso de la glicerina había sido prohibido por la AMA en enero de 2010 (Koehler, y otros, 2011). Los resultados de un estudio piloto realizado en laboratorio en dos sujetos altamente entrenados mostraron que una solución de sodio 130 mmol/L fue bien tolerada y produjo niveles de hiper- hidratación equivalentes a lo inducido con glicerol (Goulet, Aubertin- Leheudre, Plante, & Dionne, 2007).

Dieciocho Kilómetros contrarreloj

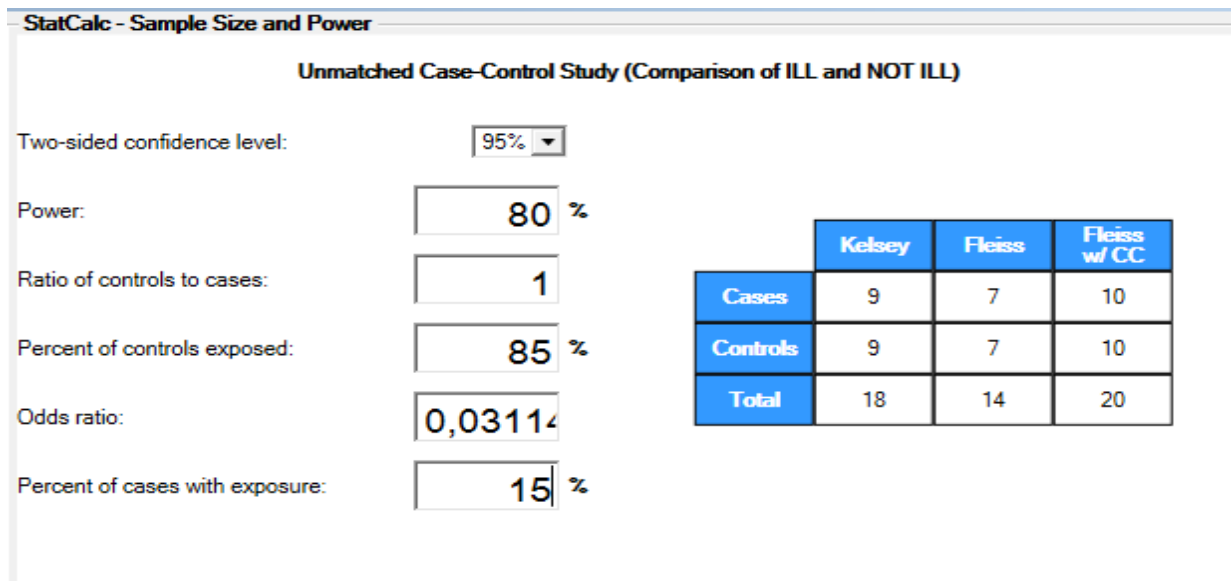
Los 18 km de carrera, que inicia a partir del minuto 110, consistieron en cuatro bloques de 4,5 km realizado en una caminadora motorizada (Trackmaster, Estados Unidos). Antes del inicio del ejercicio y al final se tomaron las medidas de la temperatura y se les preguntó sobre si tenían malestar abdominal. Por otra parte, para cada bloque se

consume 1 ml / kg de peso corporal de una solución de bebidas deportivas (Gatorade, PepsiCo, Estados Unidos) para un total de 7 ml / kg de peso corporal. Se alentó a lo largo de la prueba, y se hicieron conscientes de la distancia recorrida, pero no de su velocidad. Al final de las carreras, los sujetos se bajaron rápidamente la cinta de correr, se midieron su frecuencia cardíaca, peso corporal, porcentaje de grasa y porcentaje de hidratación y se les solicitó una nueva muestra de orina para medir la gravedad urinaria.

CÁLCULO DE LA MUESTRA

La muestra fue calculada por el método UNMATCHED CASE-CONTROL STUDY (COMPARISON OF ILL AND NOT ILL), con un nivel de confianza de 95% con poder del 80%.

Figura I. CÁLCULO DE LA MUESTRA (Epi- Info)



Fuente: EPI-INFO Elaborado por: Michael Salazar

Nivel de significancia del 95%, como estándar internacional.

Al ser un estudio de casos controles pareado con mediciones antes después, la relación casos controles es 1, cada individuo es su propio control. En general se acepta que las muestras no pareadas tienen un tamaño muestral ligeramente mayor que las pareadas.

- Plan de análisis de datos:

Se realizó un análisis bivariado comparando los resultados obtenidos luego de la prueba de carrera estando hiper-hidratado (expuestos) y eu-hidratado (no expuestos).

Se utilizaron dos pruebas no paramétricas:

1. La prueba de los rangos de Wilcoxon, para comparar las diferencias entre dos muestras de datos tomados antes y después de estar expuestos a hiper-hidratación o eu- hidratación, cuyo valor central se espera que sea cero, para determinar si rechazamos o no la hipótesis nula, según el nivel de significancia elegido.
2. La otra prueba no paramétrica que se utilizó fue la U de Mann Whitney, que se aplica a dos muestras independientes donde valores de p debe ser iguales o menores a 0,05 para ser estadísticamente significativa.

Para el análisis de datos de la línea base y el análisis bivariado se utilizó el programa EpiInfo (versión 7.1.3.0; Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA) y el programa estadístico Statistical Product and Service Solutions (SPSS) (versión 18; SPSS Inc., Chicago, IL, licencia PUCE).

ASPECTOS BIOÉTICOS

Debido a que esta investigación es con la asistencia de humanos se les entregó a los participantes el Consentimiento Informado para que sea revisado y firmado por cada uno. Este documento ha sido elaborado conforme lo recomienda el Comité de Evaluación Ética de la Investigación (CEI) de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Anexo 1.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

De los deportistas incluidos en este estudio, que fueron considerados como bien entrenados, no se discriminó el sexo por lo que el 60 % son varones y el 40% son mujeres.

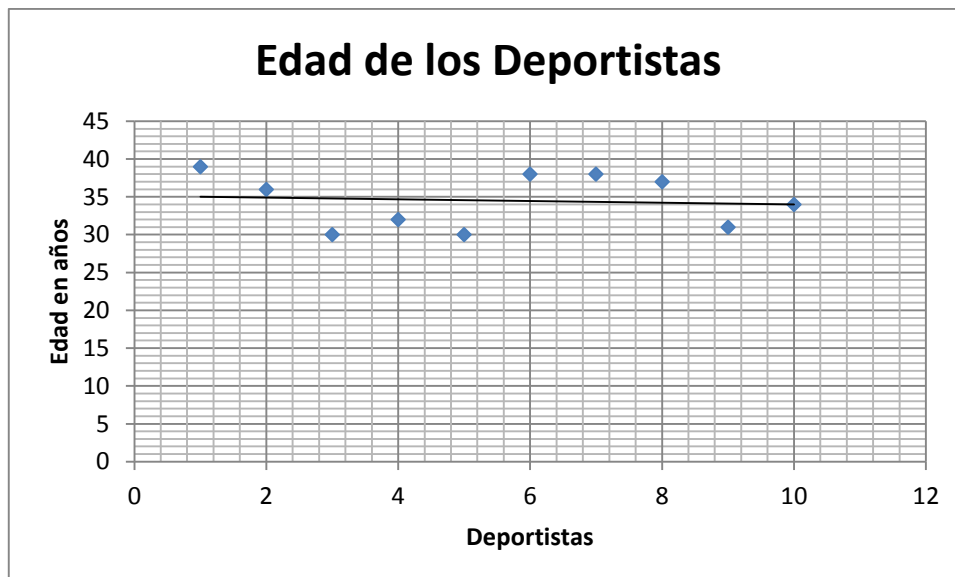
Tabla IV. PORCENTAJE ENTRE VARONES Y MUJERES

		masculino/femenino			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	femenino	4	40,0	40,0	40,0
	masculino	6	60,0	60,0	100,0
	Total	10	100,0	100,0	

Elaborado por: Michael Salazar

Las edades de los deportistas se encuentran en un promedio de 34,5 años.

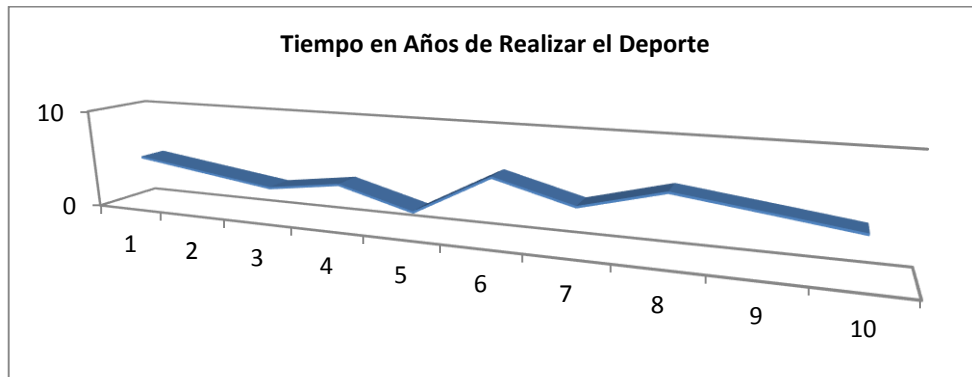
Gráfico I. PROMEDIO DE EDAD



Elaborado por: Michael Salazar

El tiempo de la práctica deportiva está en promedio de 4,3 años. Lo que nos demuestra que son atletas bien entrenados.

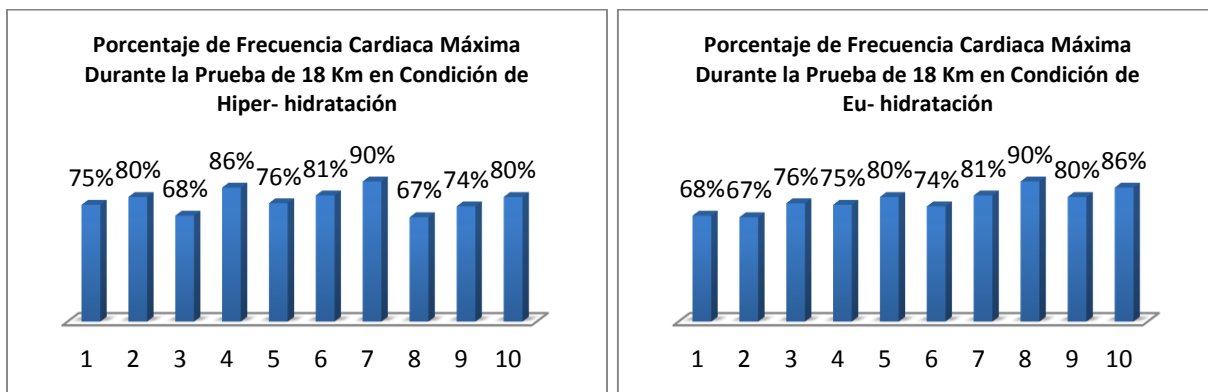
Gráfico II. TIEMPO DE PRACTICAR EL DEPORTE



Elaborado por: Michael Salazar

El porcentaje de frecuencia cardíaca máxima tuvo un promedio de 78% tanto al estar hiper- hidratado como eu- hidratados.

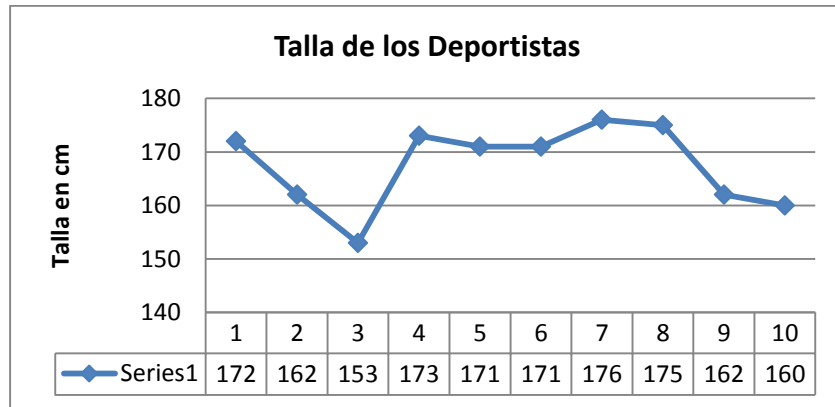
Gráfico III. PORCENTAJE DE FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA



Elaborado por: Michael Salazar

La talla promedio está en los 167,5 cm.

Gráfico IV. TALLA DE LOS DEPORTISTAS



Elaborado por: Michael Salazar

La sensación de malestar al estar hiper- hidratado o eu- hidratado fue una variable que su frecuencia llego a ser de 2 y 1 caso respectivamente.

Tabla V. FRECUENCIA DE MALESTAR GENERAL

HIPER- HIDRATACIÓN

	Frecuencia
Válidos Si	2
No	8
Total	10

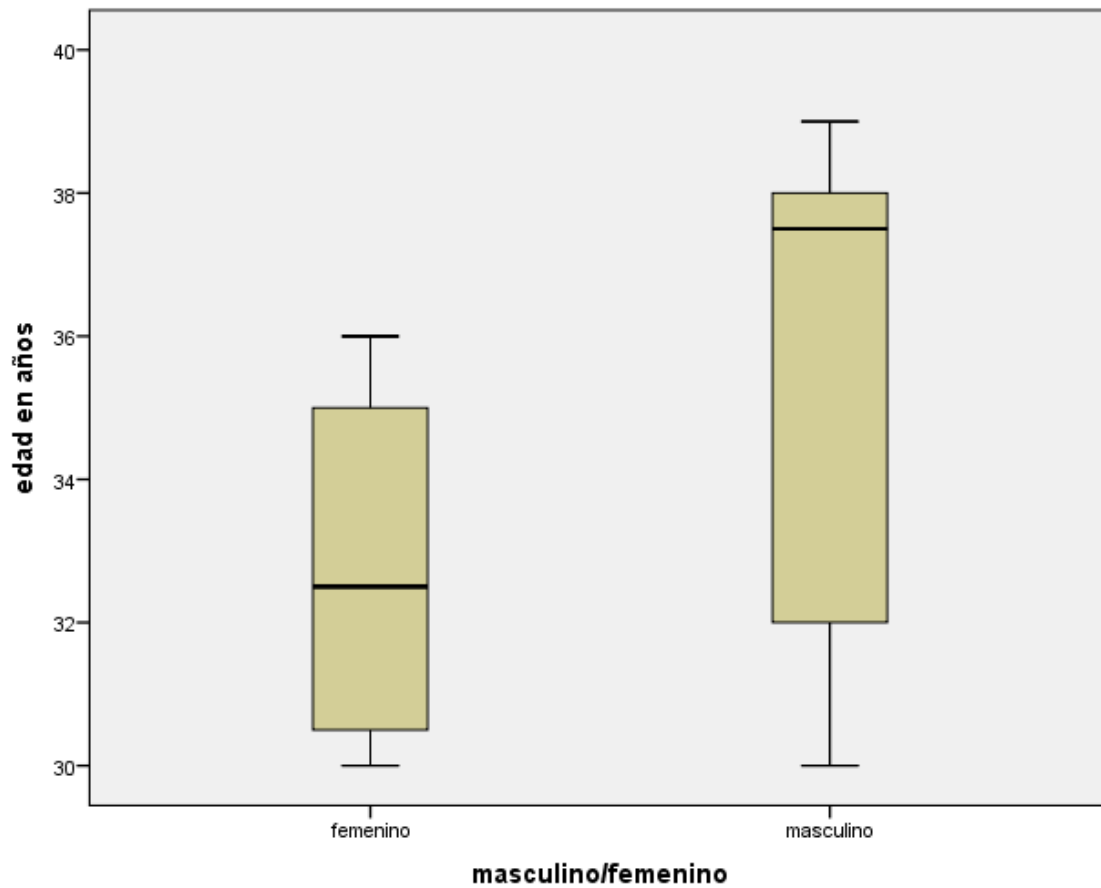
EU- HITRATACIÓN

	Frecuencia
Válidos Si	1
No	9
Total	10

Elaborado por: Michael Salazar

La relación entre la edad en años y el género, en las mujeres bordean la edad de 33 años y los varones los 37 años.

Gráfico V. RELACION ENTRE EDAD Y GENERO



Elaborado por: Michael Salazar

Pruebas no paramétricas

En la tabla V observamos que la diferencia en los deportistas expuestos a hiperhidratación antes y después de la prueba de carrera constante, es estadísticamente significativo en las variables: peso corporal (p 0,017) , gravedad específica urinaria (p 0,046) y temperatura corporal (0,005), que son marcadores específicos que pueden sufrir una variación durante la práctica de una actividad física máxima. En el caso del porcentaje de agua corporal no hubo una diferencia estadísticamente significativa (p 0,838) entre los estados pre y post prueba de carrera constante.

A pesar de existir diferencias en la pérdida de peso corporal antes y después de la prueba de carrera constante, la pérdida de peso no excedió el 2% en ninguno de los dos momentos e incluso en tres caso no existió variación.

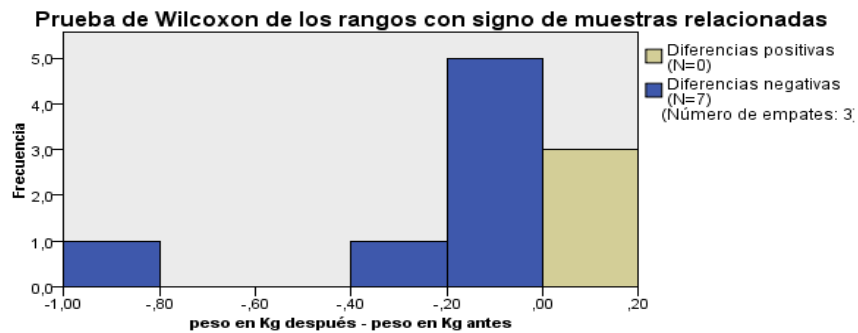
En el caso del porcentaje de grasa corporal, no se apreciaron cambios significativos.

Tabla VI. DIFERENCIAS ANTES Y DESPUÉS EN EXPUESTOS A HIPER-HIDRATACIÓN

VARIABLE	DIFERENCIAS	WILCOXON	VALOR p
PESO EN Kg	NEGATIVAS = 7	-2.39	0.017
	POSITIVAS = 0		
	EMPATES = 3		
GRAVEDAD ESPECÍFICA URINARIA	NEGATIVAS = 1	1.99	0.046
	POSITIVAS = 6		
	EMPATES = 3		
TEMPERATURA CORPORAL	NEGATIVAS = 0	2.81	0.005
	POSITIVAS = 10		
	EMPATES = 0		
PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL	NEGATIVAS = 6	-0.21	0.838
	POSITIVAS = 4		
	EMPATES = 0		
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	NEGATIVAS = 2	-1.41	0.157
	POSITIVAS = 0		
	EMPATES = 8		

Elaborado por: Michael Salazar

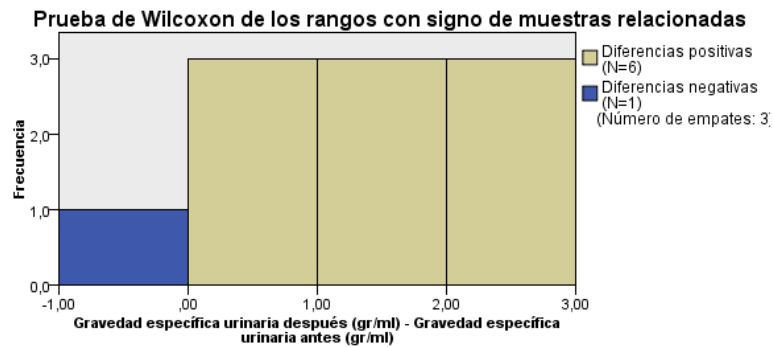
Figura II. TEST DE WILCOXON PARA EL PESO CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	,000
Error típico	5,863
Estadística de prueba estandarizada	-2,388
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,017

Elaborado por: Michael Salazar

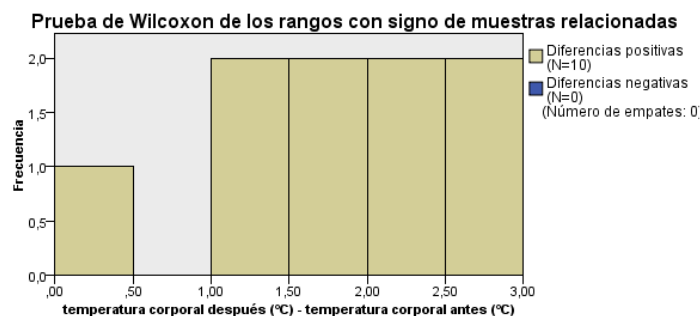
Figura III. TEST DE WILCOXON PARA LA GRAVEDAD URINARIA ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAION



N total	10
Probar estadística	25,500
Error típico	5,766
Estadística de prueba estandarizada	1,994
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,046

Elaborado por: Michael Salazar

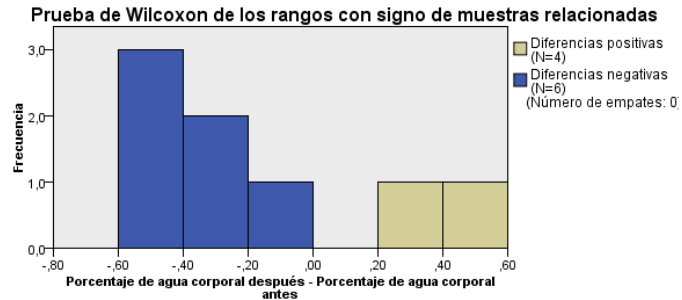
Figura IV. TEST DE WILCOXON PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATAION



N total	10
Probar estadística	55,000
Error típico	9,804
Estadística de prueba estandarizada	2,805
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,005

Elaborado por: Michael Salazar

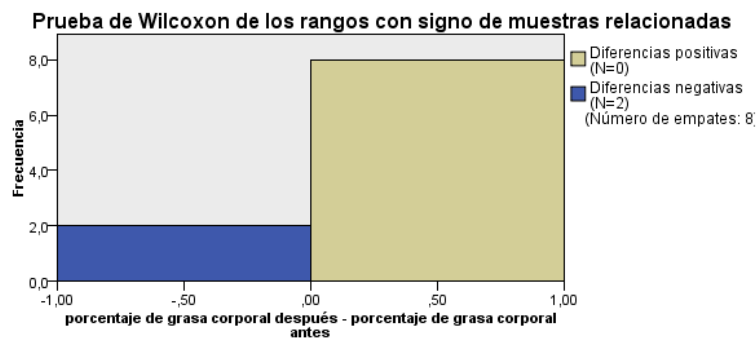
Figura V. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	25,500
Error típico	9,753
Estadística de prueba estandarizada	-,205
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,838

Elaborado por: Michael Salazar

Figura VI. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	,000
Error típico	1,061
Estadística de prueba estandarizada	-1,414
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,157

Elaborado por: Michael Salazar

En la tabla VI vemos que la diferencia en los deportistas no expuestos o eu- hidratación antes y después de la prueba de carrera constante, se encontraron resultados estadísticamente significativos en las siguientes variables: peso corporal (p 0.005), gravedad específica urinaria (p 0.005), temperatura corporal (p 0.005) y porcentaje de agua corporal (p 0.005).

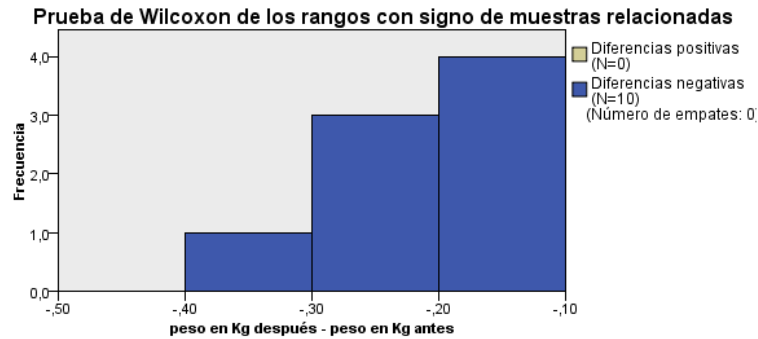
En el caso del porcentaje de grasa corporal, no se apreciaron cambios significativos.

Tabla VII. DIFERENCIAS ANTES Y DESPUÉS EN EXPUESTOS A EU-HIDRATACIÓN

VARIABLE	DIFERENCIAS	WILCOXON	VALOR p
PESO EN Kg	NEGATIVAS = 10 POSITIVAS = 0 EMPATES = 0	-2.83	0.005
GRAVEDAD ESPECÍFICA URINARIA	NEGATIVAS = 0 POSITIVAS = 10 EMPATES = 0	2.82	0.005
TEMPERATURA CORPORAL	NEGATIVAS = 0 POSITIVAS = 10 EMPATES = 0	2.81	0.005
PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL	NEGATIVAS = 10 POSITIVAS = 0 EMPATES = 0	-2.81	0.005
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	NEGATIVAS = 2 POSITIVAS = 0 EMPATES = 8	-1.34	0.180

Elaborado por: Michael Salazar

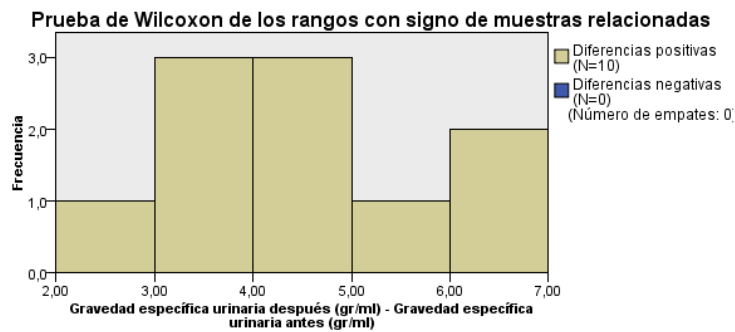
Figura VII. TEST DE WILCOXON PARA EL PESO CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	,000
Error típico	9,721
Estadística de prueba estandarizada	-2,829
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,005

Elaborado por: Michael Salazar

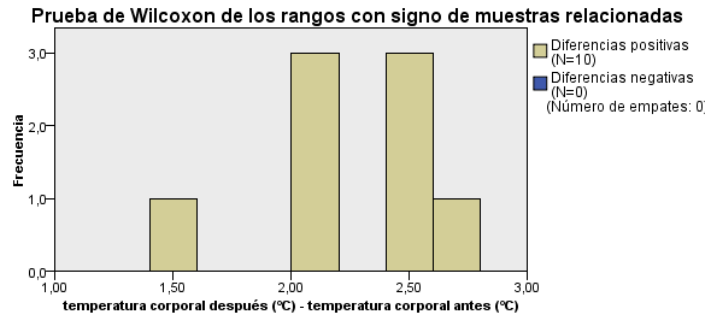
Figura VIII. TEST DE WILCOXON PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA URINARIA ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	55,000
Error típico	9,753
Estadística de prueba estandarizada	2,820
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,005

Elaborado por: Michael Salazar

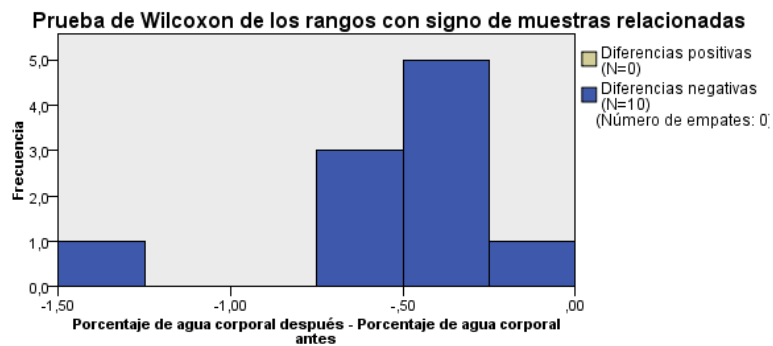
Figura IX. TEST DE WILCOXON PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAION



N total	10
Probar estadística	55,000
Error típico	9,779
Estadística de prueba estandarizada	2,812
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,005

Elaborado por: Michael Salazar

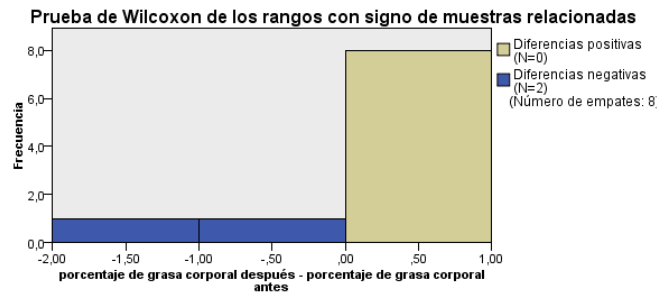
Figura X. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATAION



N total	10
Probar estadística	,000
Error típico	9,792
Estadística de prueba estandarizada	-2,809
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,005

Elaborado por: Michael Salazar

Figura XI. TEST DE WILCOXON PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ANTES Y DESPUES DE EXPUESTOS A LA EU- HIDRATACION



N total	10
Probar estadística	,000
Error típico	1,118
Estadística de prueba estandarizada	-1,342
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,180

Elaborado por: Michael Salazar

En la tabla VI donde se realiza la Comparación entre atletas sometidos a hiperhidratación y eu- hidratación, según variables del estudio, no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$), lo que nos permite comprobar la hipótesis planteada que la hiper- hidratación no altera el rendimiento durante la carrera.

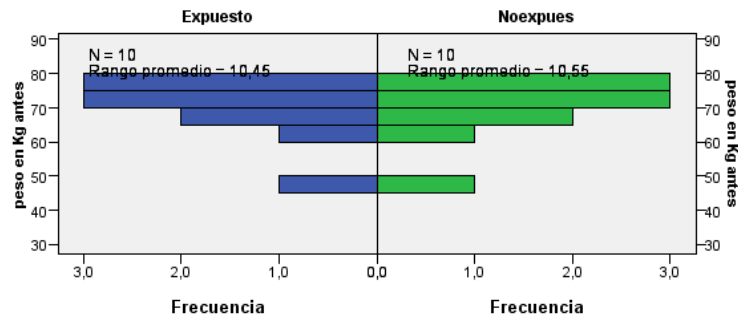
Un dato muy llamativo se presenta en el porcentaje de agua corporal ya que, a pesar de no existir una $p \leq 0.05$ el rango de diferencia es importante a favor de la hiperhidratación con lo que se puede concluir que mientras más hidratado se está es favorable ante la posibilidad de llegar a la deshidratación.

Tabla VIII. COMPARACIÓN ENTRE ATLETAS SOMETIDOS A HIPER-HIDRATACIÓN Y EU- HIDRATACIÓN, SEGÚN VARIABLES DEL ESTUDIO

VARIABLE	HIPER-HIDRATACIÓN	EU-HIDRATACIÓN	U DE MANN-WHITNEY	VALOR p
PESO EN KG	10.45	10.55	50.5	0.970
GRAVEDAD ESPECÍFICA URINARIA	9.25	11.75	62.5	0.344
TEMPERATURA CORPORAL	10.60	10.40	49.00	0.939
PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL	12.40	8.60	31.00	0.150
PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL	10.05	10.95	54.50	0.731

Elaborado por: Michael Salazar

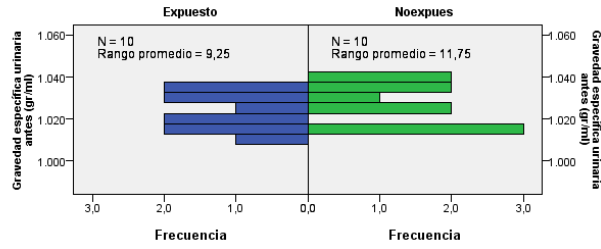
Figura XII. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PESO CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	20
U de Mann-Whitney	50,500
W de Wilcoxon	105,500
Probar estadística	50,500
Error típico	13,224
Estadística de prueba estandarizada	,038
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,970
Sig. exacta (prueba de dos caras)	1,000

Elaborado por: Michael Salazar

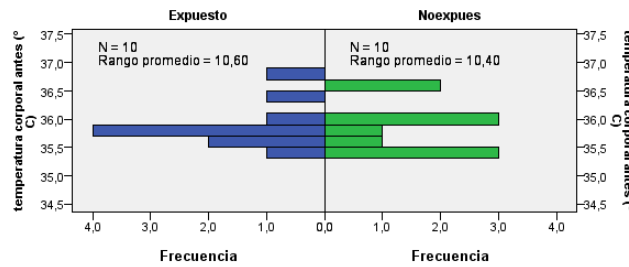
Figura XIII. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA URINARIA ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	20
U de Mann-Whitney	62,500
W de Wilcoxon	117,500
Probar estadística	62,500
Error típico	13,219
Estadística de prueba estandarizada	,946
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,344
Sig. exacta (prueba de dos caras)	,353

Elaborado por: Michael Salazar

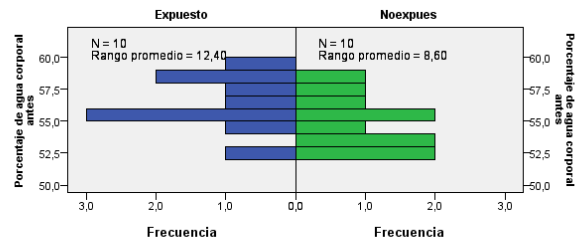
Figura XIV. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA LA TEMPERATURA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	20
U de Mann-Whitney	49,000
W de Wilcoxon	104,000
Probar estadística	49,000
Error típico	13,124
Estadística de prueba estandarizada	-,076
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,939
Sig. exacta (prueba de dos caras)	,971

Elaborado por: Michael Salazar

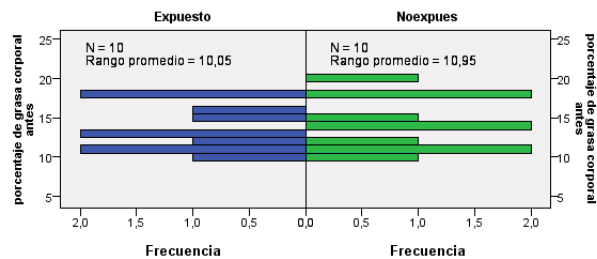
Figura XV. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE AGUA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	20
U de Mann-Whitney	31,000
W de Wilcoxon	86,000
Probar estadística	31,000
Error típico	13,214
Estadística de prueba estandarizada	-1,438
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,150
Sig. exacta (prueba de dos caras)	,165

Elaborado por: Michael Salazar

Figura XVI. PRUEBA U DE MANN WHITNEY PARA EL PORCENTAJE DE GRASA CORPORAL ENTRE EXPUESTOS Y NO EXPUESTOS A HIPER- HIDRATACION



N total	20
U de Mann-Whitney	54,500
W de Wilcoxon	109,500
Probar estadística	54,500
Error típico	13,104
Estadística de prueba estandarizada	,343
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,731
Sig. exacta (prueba de dos caras)	,739

Elaborado por: Michael Salazar

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Existe evidencia de que la pérdida de peso corporal $>2\%$ influye en el rendimiento de los atletas. Este estudio examinó la influencia de la hiper-hidratación sobre el rendimiento de carrera al impedir una pérdida de peso mayor a 2% . Por tanto, el objetivo de la hiper-hidratación es mantener el rendimiento. Es así que este estudio cobra relevancia para los corredores al demostrar que la hiper-hidratación antes del ejercicio es una variable que influye potencialmente en el rendimiento.

Para los atletas entrenados que beben 500 ml de líquido durante la prueba de carrera constante, los resultados sugieren que la ganancia de peso inducida por la hiper-hidratación no influye en la velocidad de carrera.

Generalmente se ha aceptado que una pérdida de peso corporal $\geq 2\%$, obstaculiza sistemáticamente la resistencia, independientemente de si el ejercicio se realiza bajo diferentes tipos de temperatura ambiental. En el estudio en que ha utilizado como un medio para probar el impacto de la pérdida de peso corporal en el rendimiento fue el de Fallowfield et al. (Fallowfield, Williams, Booth, Choo, & Grows, 1996) quién demostró que los sujetos con $< 2\%$ de pérdida de peso corporal, tomó más tiempo para llegar al agotamiento que aquellos con 2% de pérdida de peso corporal. En cambio Goulet et al. (Goulet, Rousseau, Lamboley, Plante, & Dionne, 2008) demostraron que, en comparación con la eu-hidratación, la hiper-hidratación inducida por glicerol fue suficiente para impedir una pérdida de

peso corporal > 2%, aumentado significativamente la capacidad de resistencia durante una carrera de 12 minutos de tiempo en un ensayo cíclico progresivo hasta el agotamiento después de 2 h de ciclismo en estado estable.

Ebert et al. (Ebert, y otros, 2007) mostró que, a pesar de la reducción del coste metabólico de ejercicio, la pérdida de peso corporal de 2 kg disminuyeron el tiempo en una prueba de subida en colina para llegar hasta el agotamiento después de 2 horas de ejercicio en bicicleta de intensidad fija, en comparación con un estado bien hidratado. Los resultados de este estudio contradicen claramente los de los estudios antes mencionados. Estos resultados discrepantes entre los estudios se pueden conciliar sobre la base de que los tres estudios muestran un efecto positivo de la hidratación utilizando intensidad de ejercicio hasta el agotamiento con protocolos de ejercicio fijos, mientras que el presente estudio se utilizó un protocolo sin llevar al agotamiento. De hecho, desde un punto de vista estadístico, ningún estudio hasta el día de hoy ha sido capaz de demostrar que una pérdida de peso corporal $\leq 4\%$ del peso corporal afecta el rendimiento, en comparación con un estado bien hidratado (Kay & Marino, 2003) (Robinson, y otros, 1995) (Bachle, Eckerson, Albertson, Ebersole, Goodwin, & Petzel, 2001) (Backx, Van Someren, & Palmer, 2003) (Dugas, Oosthuizen, Tucker, & Noakes, 2009). En un meta-análisis, realizado por Goulet (Goulet, Effect of exercise- induced dehydration on time- trial exercise performance: A metaanalysis, 2011) demostró que incluso una pérdida de peso corporal mejora, aunque no de forma significativa, más que disminuye el rendimiento en el ciclismo. El presente estudio agrega un nuevo hallazgo de la literatura en mostrar que el

intento de evitar una pérdida de peso corporal $\geq 2\%$ mediante el uso de la hiperhidratación es probable que confiera un aumento en el rendimiento de carrera.

Algunos corredores no comparten la idea de utilizar la hiperhidratación, ya que se preocupan de perder velocidad debido a la cantidad adicional de peso que necesita ser cargado. Una de las formas a través del cual la hiperhidratación podría reducir la velocidad de carrera es mediante el aumento de la carga de O₂ de una velocidad determinada. De hecho, la relación entre la economía de carrera y el rendimiento ha sido bien documentado, con muchos estudios que demuestran una fuerte relación entre la economía de carrera y la distancia en el rendimiento de carrera (Di Prampero, y otros, 1993) (Conley & Krahenbuhl, 1980). Sin embargo, Armstrong et al. (Armstrong, y otros, 2006) demostraron que el mantenimiento de euhidratación no aumentó la carga de O₂ durante 10 minutos de correr a 70% y 85% del VO₂ máx en corredores altamente entrenados, en comparación con una pérdida de peso corporal de 5,5% (2,6 kg) inducida por la privación de agua. Beis et al. (Beis, Polyviou, Malkova, & Pitsiladis, 2011) mostró que un 0,9 kg de ganancia de peso corporal con hiperhidratación inducida por la creatina y el glicerol no alteró la economía de carrera en corredores entrenados al completar una prueba de 30 minutos a 60% VO₂ máx bajo una temperatura ambiente de 10 ° C y 35 ° C. Una limitación importante de estos estudios es que ninguna medida de resistencia fue tomada. Por tanto, los hallazgos en este trabajo se extienden a los de la literatura actual y sugieren que la realización de una carga adicional de agua es poco probable que interfiera con la velocidad de carrera y, presumiblemente, no

disminuya la economía de carrera en atletas entrenados, tanto en condiciones planas y de altura.

Hasta 2010, año en que la AMA prohibió glicerol debido a su posible efecto de enmascaramiento (Koehler, y otros, 2011), la hiper- hidratación inducida por glicerol fue la técnica de elección utilizado por los atletas que desean iniciar el ejercicio con un depósito de líquido adicional. De hecho, en comparación con la hiper- hidratación inducida por agua, la adición de glicerol (1-1,2 g / kg de peso) a una carga de fluido de gran tamaño (20 a 26 ml / kg de peso) se había demostrado para aumentar la retención de líquidos por cada 1000 ml, o 13 ml / kg de peso corporal, durante varios protocolos de hiper- hidratación (Goulet, Aubertin- Leheudre, Plante, & Dionne, 2007). Los resultados del presente estudio al estar basado en el trabajo de Gigou et. al. (Gigou P. , Dion, Asselin, Berrigan, & E.d, 2012) sugieren que una solución de 130 mmol de sodio / L al ingerir un volumen de 26 ml / kg de peso corporal proporciona una capacidad de retención de líquidos que se compara favorablemente bien con la técnica de la hiper- hidratación inducida por glicerol. Este efecto se debe a la naturaleza hipertónica de la solución de hiper- hidratación (330 mOsmol / kg H₂O) que, en el agua corporal acumulada, permitió la disminución excesiva de la producción de la ADH. Por lo tanto esto reduce significativamente la tasa posterior de la excreción de agua en el riñón, en comparación con una situación en la que solamente el agua había sido ingerida. Cuanto tiempo podría el presente protocolo de hiper- hidratación sostener un aumento marcado en el agua del cuerpo en reposo, no está claro. Curiosamente, Griffin et al. (Griffin, Ghiasvand, Gibson, Orri, Burns, & Robergs, 1999) han

demostrado que la ingestión de 26 ml / kg de peso corporal de una solución de 80 mEq/ L de NaCl durante 2 h mantiene la hiper- hidratación para 4 h, en comparación con el agua; y la hiper- hidratación inducida por glicerol que sostiene 5 h. A pesar de estos resultados prometedores, se necesitan más estudios que comparen directamente la hiper- hidratación inducida con glicerol o con sodio antes de cualquier recomendación que se pueden hacer a los atletas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

- El mantener una hiper- hidratación o eu- hidratación son determinantes para prevenir la pérdida de peso corporal durante el ejercicio.
- Los resultados de este trabajo sugieren que, antes del ejercicio la hiper- hidratación inducida con sodio, es adecuada para prevenir la pérdida de peso corporal > 2%, y no alterar el rendimiento.
- La hiper- hidratación ha demostrado ser tolerada de manera adecuada sin influir en el rendimiento.
- Los deportistas bien entrenados conocen la forma de mantenerse eu- hidratados durante una prueba de carrera lo que evita consecuencias en su salud.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

- Educar a todos los individuos que realizan actividad física y deporte en que se requiere siempre la orientación y seguimiento de un Médico Deportólogo para una sana y segura práctica de lo que más les gusta.
- Estandarizar la hiper- hidratación con sodio como un método adecuado y recomendable para cuando se realice entrenamientos o competencias de larga distancia.
- Realizar un nuevo estudio en el cuál se compare la hiper- hidratación con glicerol y con carga de sodio, como en este estudio, para determinar la recomendación a los atletas.
- Fomentar la hidratación tanto antes, durante y después de un entrenamiento o una competencia.
- Sugerir a instituciones públicas como el Ministerio del Deporte y Ministerio de Salud para que se promueva la presentación de más información científica.
- Promover el trabajo multidisciplinario con todos los profesionales relacionados con las ciencias de la actividad física y deporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guyton, A., & Hall, J. (2006). Los compartimentos líquidos del cuerpo. In A. Guyton, & J. Hall, Tratado de Fisiología Médica. Philadelphia: Elsevier.
2. Gagge, A., & Gonzáles, R. (1996). Mechanisms of heat exchange: Biophysics and Physiology. In A. Gagge, & R. Gonzáles, Handbook of Physiology, section 4. (pp. 45-84). New York: Oxford University Press.
3. Bouchama, A. (1998). Evidence for endothelial cell activation/injury in heat stroke. *Critical Medical Care* , 1173-1178.
4. Handcock, P., & Vasmatzidis, I. (2003). Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *Internal Journal Hypertention* , 355-372.
5. Szinnai, G., Schachinger, H., & Arnaud, M. (2005). Effect of water deprivation on cognitive- motor performance in healthy men and women. *American Journal Physiology* , 275-280.
6. Pineiro, N., & Martínez, J. (2004). Golpe de Calor. *Emergencias*.
7. Chiriboga, M., & Miranda, C. (2013). Comparación de la eficacia del esquema de hidratación según las recomendaciones de "The American College of Sport Medicine" 2007 vs esquema personal, para mantener parámetros de euhidratación en deportistas que realizan actividad física regular. Estudio realizado en deportistas pertenecientes al Club de Natación Regatas, durante el periodo comprendido entre Noviembre a diciembre 2013. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

8. Higham, D., & Naughton, G. (2009). Comparison of Fluid Balance between Competitive Swimmers and Less Active Adolescents. *Internal Journal Sport Nutrition* , 259-274.
9. Osterberg, K., Horswill, C., & Baker, L. (2009). Pregame urine specific Gravity and fluid intake by national basketball association players during competition. *Journal Athletic Training* , 53-57.
10. Sawka, M., Burke, L., Eichner, E., Maughan, R., Montain, S., & Stachenfeld, N. (2007). American college of sports medicine position statement. Exercise and fluid replacement. *Medicine Science Sports Exercise* , 377-390.
11. Dolan, M., & Eberman, L. (2009). Best practice for clinical hydration. *Clinical Evaluation and Testing* , 9-11.
12. Fallowfield, J., Williams, C., Booth, J., Choo, B., & Grouns, S. (1996). Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running. *Journal Sports Science* , 497-502.
13. Angus, S., & Waterhouse, B. (2011). Pacing strategy from high frequency field data: More evidence for neural regulation? *Medicine Science Sports Exercise* , 2405-2411.
14. Lambert, M., Dugas, J., Kirkman, M., Mokone, G., & Waldeck, M. (2004). Changes in running speeds in a 100 km ultra-marathon race. *Journal Sports Science Medicine* , 167-173.
15. Kao, W., Shyu, C., Yang, X., Hsu, T., Chen, J., Kao, W., et al. (2008). Athletic performance and serial weight changes during 12- and 24-hour ultra-marathons. *Clinical Journal Sports Medicine* , 155-158.

16. Zouhal, H., Groussard, C., Minter, G., Vincent, S., Cretual, A., Gratas-Delamarche, A., et al. (2011). Inverse relationship between percentage body weight change and finishing time in 643 forty-two-kilometre marathon runners. *British Journal Sports Medicine* , 1101-1105.
17. Beis, L., Wright-Whyte, M., Fudge, B., Noakes, T., & Pitsiladis, Y. (2004). Drinking behaviors of elite male runners during marathon competition. *Clinical Journal Sports Medicine* , 254-261.
18. Coyle, E. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *Journal Sports Science* , 39-55.
19. Saunders, P., Pyne, D., Telford, R., & Hauley, J. (2004). Factors effecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine* , 465-485.
20. Noakes, T. (1993). Fluid replacement during exercise. *Exercise Sport Science Rev* , 297-330.
21. Buerke, L., Wood, C., Pyne, D., Telford, D., & Saunders, P. (2005). Effect of carbohydrate intake on half-marathon performance of well-trained runners. *Internal Journal Sport Nutrition Exercise Metabolic* , 573-589.
22. Millard-Stafford, M., Roskopf, L., Snow, T., & Hinson, B. (1997). Water Versus carbohydrate- electrolyte ingestion before and during a 15-km run in the heat. *Internal Journal Sport Nutrition* , 26-38.
23. Goulet, E. (2008). Pre- Exercise hyperhydration: Comments on the 2007 ACSM position stand on exercise and fluid replacement. *Journal Exercise Physiology* , 64-74.

24. Cheuvront, S., Carter, R., & Sawka, M. (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports Rep.* , 202-208.
25. Kay, D., & Marino, E. (2003). Failure of fluid ingestion to improve self-paced exercise performance in moderate- to- warm humid environments. *Journal Therm. Biol* , 29-34.
26. Robinson, T., Hawley, J., Palmer, G., Wilson, G., Gray, D., Noakes, T., et al. (1995). Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures. *Europe Appl. Physiol. Occup. Physiol.* , 153-160.
27. Bachle, L., Eckerson, J., Albertson, L., Ebersole, K., Goodwin, J., & Petzel, D. (2001). The effect of fluid replacement on endurance performance. *Journal Strength Cond. Res.* , 217-224.
28. Backx, K., Van Someren, K., & Palmer, G. (2003). One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int. Journal Sport Nutr. Exerc. Metab.* , 333-342.
29. Dugas, J., Oosthuizen, U., Tucker, R., & Noakes, T. (2009). Rates of fluid ingestion alter pacing but not thermoregulatory responses during prolonged exercise in hot and humid conditions with appropriate convective cooling. *Europe Journal Appl. Physiol.* , 69-80.
30. Goulet, E., Rousseau, S., Lamboley, C., Plante, G., & Dionne, I. (2008). Pre-Exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2 h of cycling in a temperature climate. *Journal Physiology Anthropology* , 263-271.

31. Beis, L., Polyviou, T., Malkova, D., & Pitsiladis, Y. (2011). The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners. *Journal Int. Soc. Sports Nutrition* , 24.
32. Gigou, P., Dion, T., Asselin, A., Berrigan, F., & E.d, G. (2012). Pre- exercise hyperhydration- induced bodyweight gain does not alter prolonged treadmill running time- trial performance in warm ambient conditions. *Nutrients* , 949-966.
33. Koehler, K., Braun, H., De Marees, M., Geyer, H., Thevis, M., Mester, J., et al. (2011). Urinary excretion of exogenous glycerol administration at rest. *Drug Test. Anal.* , 877-882.
34. Goulet, E., Aubertin- Leheudre, M., Plante, G., & Dionne, I. (2007). A meta- analysis of the effects of glycerol. induced hyperhydration on fluid retention and endurance performance. *Int. Journal Sport Nutrition Exercise Metab.* , 391-410.
35. Ebert, T., Martin, D., Bullock, N., Mujika, I., Quod, M., Farthing, L., et al. (2007). Influence of hydration status on thermoregulation and cycling hill climbing. *Med. Science Sports Exercise* , 323-329.
36. Di Prampero, P., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., et al. (1993). Energetics of best performances in middle- distance running. *Journal Appl. Physiol.* , 2318-2324.
37. Conley, D., & Krahenbuhl, G. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Science Sports Exercise* , 357-360.
38. Armstrong, L., Whittlesey, M., Casa, D., T.A, E., Kavouras, S., N.R, K., et al. (2006). No effect of 5% hypohydration on running economy of competitive runners at 23 degrees. *C. Med. Science Sports Exercise* , 1762-1769.

39. Gigou, P., Dion, T., Asselin, A., Berrigan, F., & Goulet, E. (2012). Pre- Exercise hyperhydration- induced bodyweight gain does not alter prolonged Treadmill running time- trial performace in warm ambient conditions. *Nutrients* , 949-966.
40. Griffin, S., Ghiasvand, F., Gibson, A., Orri, J., Burns, S., & Robergs, R. (1999). Comparing hyperhydration resulting from the ingestion of glicerol, carbohydrate and saline solutions. American Society of Exercise Physiologists 2nd Annual Meeting. Albuquerque.
41. Goulet, E. (2011). Effect of exercise- induced dehydration on time- trial exercise performance: A metaanalysis. *Br. Journal Sports Medicine* , 1149-1156.
42. Willmore, J., & Costill, D. (1999). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics Pub .
43. Barbany, J. (2002). *Alimentación para el deporte y la salud*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
44. Maughan, R., & Shirreffs, S. (1998). Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. In M. Harries, C. Williams, & W. Stanish, *Oxford Textbook of Sports Medicine* (pp. 50-60). Oxford: Oxford University Press.
45. McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2001). *Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance* . Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
46. Locke, M., & Nobre, E. (2002). *Exercise and Stress Response. The Role of Stress Proteins*. Boca Raton: CRC Press.
47. Costill, D., Cote, R., & Fink, W. (1976). Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. *Journal Appl Physiol* , 6-11.

48. Roses, J., & Pujol, P. (2006). Hidratación y ejercicio físico. APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT , 70-77.
49. Iglesias, C., Villarino, A., Martínez, J., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Lorenzo, H., et al. (2011). Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD2010. Nutrición Hospitalaria , 27-36.
50. Jéquier, E., & Constant, F. (2008). Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. Europe Journal Clin Nutr , 656-657.
51. Fernández-Martín, J., & Benito Cannata-Andía, J. (2008). Agua de bebida como elemento de la nutrición. Barcelona Med Clin , 656-657.
52. Water, I. o. (2005). DRI. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Panel on Dietary Reference Intakes for Electrolytes and Water, Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes. Washington: The National Academy Press.
53. Popkin, B., Armstrong, L., Bray, G., Caballero, B., Frei, B., & Willen, C. (2006). A new proposed guidance system for beverage consumption in the United States. Am J Clin Nutr , 83, 529-542.
54. Neuffer, P., Sawka, M., Young, A., Quigley, M., Latzka, W., & Levine, L. (1991). Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. Journal Appl Physiol , 70, 1490-1504.
55. Martin, A., Daniel, M., Drinkwater, D., & Clarys, J. (1994). Adipose tissue density, estimated adipose lipid fraction and whole body adiposity in male cadavers. Int J Obes Relat Metab Disord , 18, 79-83.

56. Baumgartner, R., Stauber, P., McHugh, D., Koehler, K., & Garry, P. (1995). Crosssectional age differences in body composition in persons 60+ years of age. *Journal Gerontol* , 307-316.
57. Boulze, D., Montastruc, P., & Cabanac, M. (1983). Water intake, pleasure and water temperature in humans. *Physiol Behav* , 30, 97-102.
58. Ekblom, B., Greenleaf, C., Greenleaf, J., & Hermansen, L. (1970). Temperature regulation during exercise dehydration in man. *Acta Physiol Scand* , 79, 475-483.
59. Montain, S., Sawka, M., Latzka, W., & Valeri, C. (1998). Thermal and cardiovascular strain from hypohydration: Influence of exercise intensity. *Int Journal Sports Med* , 19, 87-91.
60. Manz, F. (2007). Hydration and Disease. *Journal Am Coll Nutr* , 26, 535S-541S.
61. Gant, N., Leiper, J., & Williams, C. (2007). Gastric emptying of fluids during variable-intensity running in the heat. *Int Journal Sport Nutr Exerc Metab* , 17, 270-283.
62. Morton, D., Aragón-Vargas, L., & Callister, R. (2004). Effect of ingested fluid composition on exercise-related transient abdominal pain. *Int Journal Sport Nutr Exerc Metab* , 14, 197-208.
63. Shirreffs, S., Merson, S., Fraser, S., & Archer, D. (2004). The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man. *Br Journal Nutr* , 91, 951-1008.
64. Shirreffs, S., Aragon-Vargas, L., Keil, M., Love, T., & Phillips, S. (2007). Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. *Int Journal Sport Nutr Exerc Metab* , 17, 244-258.

65. Armstrong, L., & Maresch, C. (1998). Effects of training environment and host factors on the sweating response to exercise. *Int Journal Sports Med* , 19, 103-105.
66. Chevront, S., Montain, S., & Sawka, M. (2007). Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports Med* , 37, 353-357.
67. Burke, L. (1996). Rehydration strategies before and after exercise. *Australian Journal of Nutrition & Dietetics* , 53, 22-26.
68. Montain, S., & Coyle, E. (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *Journal of Applied Physiology* , 73, 1340-1350.
69. Mayol-Soto, M., & Aragón-Vargas, L. (2009). Estrategias de rehidratación post-ejercicio: tasa de ingesta de líquido y tipo de bebida. *Pensar en Movimiento. Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud* , 7, 1-10.
70. Shirreffs, S., & Maughan, R. (1998). Volume repletion following exercise-induced volume depletion in man: replacement of water and sodium losses. *American Journal of Physiology* , 868-875.
71. Jones, E., Bishop, P., Green, J., & Richardson, M. (2010). Effects of metered versus bolus water consumption on urine production and rehydration. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* , 20, 139-144.
72. Casa, D., Clarkson, P., & Roberts, W. (2005). Roundtable on Hydration and Physical Activity: Consensus Statements-American College of Sports Medicine. *Current Sports Medicine Reports* , 4, 115-127.

73. Shirreffs, S., Armstrong, L., & Cheuvront, S. (2004). Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of Sports Sciences* , 22, 57-63.
74. Shirreffs, S., Taylor, A., Leiper, J., & Maughan, R. (1996). Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Medicine & Science in Sports & Exercise* , 28, 1260-1271.
75. Mitchell, J., Phillips, M., Mercer, S., Baylies, H., & Pizza, F. (2000). Postexercise rehydration: effect of Na⁺ and volume on restoration of fluid spaces and cardiovascular function. *Journal of Applied Physiology* , 89, 1302-1309.
76. Archer, D., & Shirreffs, S. (2001). Effect of fluid ingestion rate on postexercise rehydration in man. *Proceedings of the Nutrition Society* , 60, 200.
77. Kovacs, E., Schmahl, R., Denden, J., & Brouns, F. (2002). Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* , 12, 14.
78. Houtkooper LB, G. S. (1994). Body composition: how should it be measured? Does it affect sport performance? *Sports Sci Exchange* , 7, 1-8.
79. Pérez, j. (2009). Rendimiento deportivo: Composición corporal, peso, energía-macronutrientes y digestión. *Archivos de Medicina del Deporte* , 26, 451-459.

ANEXO 1

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ESTUDIOS CLÍNICOS

Este Formulario de Consentimiento Informado se dirige a hombres y mujeres que son deportistas bien entrenados y que se les invita a participar en la investigación sobre el efecto de la hiper- hidratación pre-ejercicio sobre el rendimiento físico durante una prueba de carrera prolongada en deportistas bien entrenados.

PARTE I: Información

Introducción

Yo soy el Dr. Michael Salazar Jiménez, estoy investigando sobre el efecto de la hiper- hidratación pre-ejercicio sobre el rendimiento físico durante una prueba de carrera prolongada en deportistas bien entrenados. Le voy a dar información e invitarle a participar de esta investigación. No tiene que decidir hoy si participar o no en esta investigación. Antes de decidirse, puede hablar con alguien que se sienta cómodo sobre la investigación. Puede que haya algunas palabras que no entienda, puede preguntar en cualquier momento.

Propósito

El propósito de este estudio es comparar el efecto de la una gran hidratación y una hidratación normal pre-ejercicio sobre el rendimiento físico realizando una prueba de carrera prolongada en condiciones de altura.

Tipo de Intervención de Investigación

Esta investigación incluirá:

- Realizar una prueba de carrera de 18km sobre una banda sin fin
- Realizar una entrevista sobre el estado general y como se siente antes y después de la prueba
- Se tomara el peso, temperatura corporal y se medirá el nivel de hidratación con una muestra de orina.
- Se entregara a tomar líquidos para hidratar previamente a la prueba

Selección de participantes

Estamos invitando a todos los adultos que practiquen un deporte de alta intensidad de trabajo y que se mantengan en entrenamiento constante.

Participación Voluntaria

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aún cuando haya aceptado antes.

Procedimientos y Protocolo

Inicialmente se realizará una visita preliminar y una fase de familiarización, las personas que participen se someterán a dos pruebas experimentales, comenzarán en un estado de gran hidratación o hidratación normal, con 7-10 días de diferencia.

Cuando lleguen al laboratorio, los participantes esperarán la hidratación normal o gran hidratación durante un período de 1 hora 50 minutos, en este tiempo se procederá a realizar una encuesta, pesarlos, tomarles la temperatura y tomar una muestra de orina.

Luego de la primera fase se someterán a correr 18 kilómetros (que comprende un total de 480 m de escalada vertical) en una caminadora motorizada en la altura de Quito.

Al terminar la prueba se volverá a realizar una encuesta, pesarlos, tomarles la temperatura y tomar una muestra de orina.

Nosotros no compartiremos la identidad de aquellos que participen en la investigación. La información que recojamos por este proyecto de investigación se mantendrá confidencial. La información acerca de usted que se recogerá durante la investigación será puesta fuera de alcance y nadie sino el investigador tendrán acceso a verla. Cualquier información acerca de usted tendrá un número en vez de su nombre. Solo los investigadores sabrán cual es su número y se mantendrá la información encerrada en cabina con llave. No será compartida ni entregada a nadie excepto a quien califique el trabajo.

Compartiendo los Resultados

El conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se compartirá con usted antes de que se haga disponible al público. No se compartirá información confidencial. Habrá pequeños encuentros en la comunidad y estos se anunciarán.

Después de estos encuentros, se publicaran los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de nuestra investigación.

Derecho a negarse o retirarse

Usted no tiene porque participar en esta investigación si no desea hacerlo y el negarse a participar no le afectara en ninguna forma a que sea tratado. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que desee.

Usted no tiene porque tomar parte en esta investigación si no desea hacerlo. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que quiera. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

A Quién Contactar

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después de haberse iniciado el estudio. Si desea hacer preguntas más tarde, puede contactarse con: Dr. Michael Salazar Jiménez, 0998146339/ 2269187, drmichaelsj@yahoo.com

Esta propuesta ha sido revisada y aprobada por el comité de evaluación ética institucional de la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, que es un comité cuya tarea es asegurarse de que se protege de daños a los participantes en la investigación. Si usted desea averiguar más sobre este comité, contacte [nombre, dirección, número de teléfono.]

PARTE II: Formulario de Consentimiento

He sido invitado a participar en la investigación sobre el efecto de la hiper- hidratación pre-ejercicio sobre el rendimiento físico durante una prueba de carrera prolongada en deportistas bien entrenados realizado en la ciudad de Quito. He sido informado de que los riesgos son mínimos. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará. Se me ha proporcionado el nombre del investigador que puede ser fácilmente contactado usando el nombre y la dirección que se me ha dado de esa persona.

He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado.

Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera.

Nombre del Participante _____

Firma del Participante _____

Fecha _____

Nombre del Investigador Dr. Michael Salazar Jiménez

Firma del Investigador _____

Fecha _____