

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MOVIMIENTO HUMANO Y CALIDAD DE VIDA**

**EFFECTOS AGUDOS SOBRE EL PESO CORPORAL,
HEMATOCRITO Y TEMPERATURA TÍMPÁNICA, SEGÚN
SEXO, EN CORREDORES AFICIONADOS, AL COMPETIR
EN UNA MARATÓN EN CONDICIONES EXTREMAS DE
CALOR Y HUMEDAD**

Artículo científico sometido a la consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de
Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en
Rendimiento Deportivo

Circe Berenice Villanueva Del Valle

Campus Presbítero Benjamín Núñez, Heredia, Costa Rica

2016

EFFECTOS AGUDOS SOBRE EL PESO CORPORAL, HEMATOCRITO Y
TEMPERATURA TIMPÁNICA, SEGÚN SEXO, EN CORREDORES AFICIONADOS,
AL COMPETIR EN UNA MARATÓN EN CONDICIONES EXTREMAS DE CALOR Y
HUMEDAD

CIRCE BERENICE VILLANUEVA DEL VALLE

Artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de
Graduación, para optar al título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en
Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos establecidos por la Universidad
Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador

Dr. Felipe Araya Ramírez

Vicedecano de la Facultad de Ciencias de la Salud

Dr. Jorge Salas Cabrera

Tutor

M. Sc Gabriela Soto Ocampo

Lectora

M. Sc Randall Gutiérrez Vargas

Lector

Circe Berenice Villanueva Del Valle

Sustentante

Artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación, para optar al título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

Resumen

El propósito del estudio fue determinar los efectos agudos sobre el hematocrito, temperatura timpánica y el peso corporal, según sexo, en corredores aficionados tras competir en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad. Se investigó a un total de 18 corredores (hombres y mujeres) de maratón aficionados, voluntarios y aparentemente sanos (edad: $35,6 \pm 6,9$, peso: $67,4 \pm 11,9$ y porcentaje de grasa: $20,5 \pm 7,6$) a los cuales se les realizaron evaluaciones de peso corporal (Tanita Ironman Inner Scan BC-554, Hawaii, Estados Unidos), hematocrito (Centrifuga de hematocrito KHT -400, GEMMY, Florida, Estados Unidos) y temperatura timpánica (Tempteller®, Healthmate®, Shannon, Irlanda) entre 20 y 40 min previos a la maratón e inmediatamente posterior a esta. El protocolo de hidratación para los corredores fue *ad libitum*. Además se llevó un registro cada 30 minutos sobre el índice de estrés termal (con un promedio: $28,1 \pm 3,3^{\circ}\text{C}$).

Se aplicaron tres ANOVAS mixtas 2x2 para el análisis del comportamiento del hematocrito, temperatura y peso corporal, por tiempo de medición, según sexo. Además, se realizó una prueba Z de Kolmogorov-Smirnov y un test de Levene paramétrico. Se utilizó el programa estadístico SPSS Inc de IBM Corporation, versión 22,0 y el grado de significancia se estableció a 0.05.

Los resultados demostraron que si existe una interacción entre sexo y momento de medición (pre - post) con una relación ($F_{1,16}=8.69$, $p=0.009$) y un tamaño de efecto significativos (ETA= 0.35), en donde los hombres tuvieron una pérdida significativa ($p=0.001$) equivalente al 1.9% de su peso corporal inicial, mientras que las mujeres perdieron el equivalente al 0.4% de su peso corporal inicial ($p=0.42$). Por otro lado, no se encontró interacción entre sexo y momento de medición para las variables de hematocrito y temperatura timpánica, pero sí hay diferencia a nivel de efecto simple ($F_1=49.84$, $p= 0.001$, ETA= 0.75, y $F_1=236.93$, $p=0.001$, ETA= 0.93, respectivamente). Por lo tanto, se concluye que no existen diferencias entre sexos respecto a los efectos agudos sobre el hematocrito y la temperatura timpánica en las personas participantes, tras competir en una maratón en condiciones extremas de calor y humedad, en el peso corporal si las hay. Si bien las condiciones climáticas fueron extremas, se determinó que el grado de hipohidratación reportado es similar a datos presentados en otras maratones bajo condiciones climáticas más favorecedoras.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar la cantidad de sujetos de estudio, además de utilizar más variables para medición de fluidos corporales como volumen del plasma sanguíneo o parámetros de orina, aparte del hematocrito debido a las incongruencias encontradas entre este y la variación del peso corporal.

INTRODUCCIÓN

El balance de fluidos corporales es de vital importancia para la salud, ya que el agua es uno de los nutrientes principales para el mantenimiento de las funciones fisiológicas normales y la optimización del rendimiento; cuando se realiza ejercicio, la pérdida de agua se debe mayoritariamente a la sudoración (Rehrer, 2001).

Durante el ejercicio físico, el cuerpo aumenta la producción de sudor por medio de las glándulas sudoríparas. Este está compuesto, en su mayoría, por agua y electrolitos que, al ser evaporado, funciona como el principal mecanismo de transferencia de calor, que aumenta dependiendo de la intensidad y duración del ejercicio, las condiciones ambientales, la tasa metabólica y la vestimenta (Maughan, 2010; Simpson y Howard, 2011).

Este mecanismo de transferencia de calor lleva a un proceso de deshidratación, el cual se define como la pérdida dinámica de agua corporal durante el ejercicio físico, en donde la reposición de líquido es nula o inferior a la pérdida de fluidos; dicho proceso da como resultado un estado de hipohidratación, el nivel de hidratación deficiente tras la pérdida de una cierta cantidad de líquidos corporales (Cheung, Mclellan y Tenaglia, 2000).

La lenta reposición de los líquidos perdidos por sudoración durante el ejercicio en condiciones de calor y humedad dará como resultado el aumento de la frecuencia cardíaca, la progresiva reducción del volumen sanguíneo, el volumen sistólico y, eventualmente, limitará el flujo sanguíneo en los músculos; además, se genera un aumento en la temperatura corporal (González-Alonso, 2007; Hamilton y otros, 1991). Esto genera un estrés fisiológico en el organismo, y se produce un aumento de hematocrito, producto de la reducción del volumen plasmático, también generará una pérdida en el peso corporal: entre mayor sea la intensidad y la duración del ejercicio, mayores serán dichas respuestas fisiológicas (Bonilla, 2005; Orquín-Ortega y Otros, 2013; Sawka y Noakes, 2007; Shirreffs, 2003).

La pérdida aguda postejercicio de un 3% a un 5% del peso corporal por líquidos disminuye la producción de sudor y la circulación sanguínea en la piel, lo que limita la disipación de calor (Armstrong y Otros, 2007; Maughan, Whiting y Davidson, 1985). Además, reduce la resistencia muscular de un 13% a un 44%, tanto en músculos grandes como en pequeños, y aumenta la fatiga. Este estado incrementa la percepción de esfuerzo durante la actividad física (Maughan, 2010; Mountain y Tharion, 2010).

El índice de estrés termal (WBGT, por sus siglas en inglés) es el índice más utilizado por la industria para medir el nivel de estrés por calor, representado por un valor que combina la temperatura, la humedad relativa, el viento y la radiación en el ambiente (Oficina de Meteorología, 2010). El Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM por sus siglas en inglés) indica que cuando el índice de estrés termal excede los 28°C es considerado de alto riesgo y puede producir golpes de calor (temperatura corporal superior a los 40°C) en las personas que realizan actividad física de alta intensidad o de larga duración, es decir, de más de una hora (Sawka y Otros, 2007). En estas condiciones de calor, se aumenta la tasa de sudoración, aproximadamente a 1 L/h, dependiendo del tipo de ejercicio y de su intensidad, dicha tasa puede llegar a ser, incluso, de más de 3L/h (Rehrer, 2001).

Cuando una persona participa en un evento deportivo de manera prolongada, por ejemplo una maratón, el sistema circulatorio sufre de un alto nivel de estrés, debido a los altos requerimientos de sangre por parte de los músculos implicados en dicha actividad, ya que estos deben mantener su tasa metabólica e irrigar la piel, para promover la liberación de calor (Rowell, 1974). Si a esta respuesta fisiológica se le suma la mala reposición de líquidos durante el ejercicio prolongado, es posible que se vea afectado el grado de fatiga y su rendimiento (Cheuvront & Haymes, 2001).

Anualmente, se realizan diversas competencias de maratón alrededor del mundo, entre las que podemos destacar las de París, Berlín, Rock'n Roll Las Vegas, Marine Corps Marathon en Washington, Miami, Run Disney en Orlando. En la edición del 2007 de la maratón de Chicago se registró la temperatura más alta de todas sus ediciones (31,6 °C), razón por la cual fue suspendida durante 3,5 horas luego de haber iniciado. En esta edición,

fueron hospitalizados, al menos, 49 corredores y uno murió durante la su participación en esta (Fox News, 2007).

En Costa Rica, en los últimos años, se ha habido un aumento en la práctica del atletismo de fondo y medio fondo; las personas participan cada vez más en carreras que van desde los 5 km hasta los 42 km; esto hace que Costa Rica se convierta en el país que más carreras organiza a nivel latinoamericano (Rodríguez, 2013). Datos estadísticos muestran una curva de ascenso en el desarrollo de estas competencias, durante el año 2013 se realizaron 127 carreras avaladas y 17 que no obtuvieron dicho permiso y sólo para el primer cuatrimestre del 2014 (del 19 de enero al 27 de abril), el número de carreras avaladas por la Federación Costarricense de Atletismo (FECO) llegó a 39. El aumento en el número de eventos se debe a que empresas o instituciones ven en ellas una estrategia de mercadeo o, incluso, un método de recolección de fondos (Federación Costarricense de Atletismo, 2013; Rodríguez, 2014).

Muchas de las competencias que se están realizando en Costa Rica se efectúan en zonas costeras. En estos lugares la temperatura y el porcentaje de humedad relativa son muy elevados, lo que crea un ambiente con condiciones adversas para el rendimiento deportivo de los corredores (Cheuvront & Haymes, 2001; Martin, 2007). En la literatura científica se encuentran estudios realizados durante maratones en otros países y que reportan efectos agudos en los corredores en condiciones calurosas (Del Coso y otros, 2012; 2013; Cheuvront y Haymes, 2001; Martin, 2007). Uno de ellos es el de Del Coso y otros (2013), en donde se reportó una temperatura promedio de 27 °C y una humedad relativa de 27%, catalogado por los autores como un ambiente caluroso.

Sin embargo, es poco lo reportado en otras latitudes similares a Costa Rica sobre los efectos en el organismo por participar en eventos tan exigentes y, a la vez, en condiciones aún más extremas. Un ejemplo de lo anterior es la Maratón Internacional Tamarindo "Beach", la cual se realiza en la costa, en una zona en donde se reportan temperaturas promedio sobre los 30 grados (Accuweather, 2013).

Dadas estas consecuencias, es necesario investigar sobre este tipo de eventos para valorar el riesgo real al que se someten cientos de corredores aficionados y brindar

información objetiva al respecto. Actualmente, existen investigaciones realizadas en 95 y 92 niños y adolescentes, respectivamente, sobre cambios de peso corporal en competencias de larga duración y bajo condiciones de calor en Costa Rica, con protocolos *ad libitum* (Aragón-Vargas, Wilk, Timmons & Bar-Or, 2013; Wilk, Aragón-Vargas y Bar-Or, 2001). Sin embargo, el organismo de los niños o adolescentes no responde de una manera tan eficiente como lo hace el de los adultos frente al alto nivel de estrés por calor (Aragón-Vargas, Wilk, Timmons & Bar-Or, 2013).

Por esta razón, es importante estudiar los efectos agudos en población adulta, en el hematocrito, la temperatura timpánica y el peso corporal en corredores aficionados que compiten en actividades deportivas, en condiciones extremas de calor y humedad en Costa Rica. De esta manera las personas que deseen organizar, entrenar y competir podrán tener una mejor gestión, planificación y preparación deportiva ante estas competencias para un mejor desempeño, velando por la salud de las personas que vayan a competir.

Propósito del estudio

- Determinar los efectos agudos sobre el peso corporal, el hematocrito y la temperatura timpánica, según sexo, en corredores aficionados tras competir en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Estudio cuasiexperimental descriptivo - comparativo.

Participantes

Se contó con 18 corredores aficionados, hombres y mujeres, de maratón, voluntarios, aparentemente sanos, sin alteraciones cardíacas ni lesiones neuromusculares, que entrenan regularmente con un promedio de edad de $35,6 \pm 7$ años, una edad deportiva promedio de $9,1 \pm 6,6$ años, un peso corporal promedio de $67,4 \pm 12$ kg, un porcentaje de grasa promedio de $20,5 \pm 7,5\%$, un consumo máximo de oxígeno promedio de $52,6 \pm 7$ ml/kg/min y un mínimo de haber corrido una maratón con anterioridad.

Instrumentos y materiales

Para la determinación de peso corporal se utilizó la tanita "Ironman Innerscan" BC-554 (Hawaii, Estados Unidos). Dicho equipo detecta cambios en el peso de una persona hasta 100g, y está diseñado para realizar mediciones de peso corporal a personas entre los 7 y los 99 años (Tanita Corporation, 2005). Ha sido utilizado anteriormente por Rojas, Rojas y Santiago (2004) para detectar cambios de peso corporal en adultos. La medición de peso corporal previa y posteriormente a la maratón se realizó con la vestimenta que cada corredor utilizó para correr.

La temperatura timpánica de los corredores fue registrada por medio del termómetro digital de tímpano Tempteller®, Healthmate® (Shannon, Irlanda). Dicho equipo fue utilizado minutos antes de la competición e inmediatamente posterior a esta según las indicaciones del fabricante.

La determinación de hematocrito sanguíneo fue realizada por medio de la centrifuga de microhematocrito analógica para 24 tubos capilares (KHT-400, GEMMY, Taipei, Taiwan), al cual se le dio uso según la descripción del fabricante en los momentos previos y posteriores a la carrera. Además, se utilizaron capilares heparizados (3M) para el almacenamiento de la muestra sanguínea, plasticina para cerrar los extremos de los capilares heparizados y guantes de látex para asegurar la higiene en los procedimientos de recolección de las muestras de sangre.

Para la determinación del índice de estrés termal se utilizó el monitor de índice de estrés termal QUESTemp °36, 3M (Wisconsin, Estados Unidos), con sensores para medir bulbo seco, bulbo húmedo, humedad relativa y velocidad del aire, con el fin de determinar el índice de estrés termal en el lugar y momento del evento, dichos sensores con exactitudes de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$ y $\pm 0,1$ m/s, respectivamente (3M Company, 2013). Este monitor fue ubicado en un sitio cerca de la meta, expuesto a las condiciones climáticas del lugar y se llegó un registro de cada 30 minutos sobre las condiciones climáticas presentadas.

El porcentaje de grasa corporal de las personas participantes fue medido por medio de un absorciómetro de rayos x Lunar Prodigy, General Electric Medical (Wisconsin, Estados Unidos). Según Norcross y Van Loan (2014), el coeficiente de variación para masa grasa de 0, 6%, probado en adultos entre los 18 y 45 años. Dicho equipo fue utilizado 15 días antes, y las personas participantes permanecieron sin movimiento por varios minutos mientras el equipo realizaba el análisis de cuerpo completo. No se les permitió portar objetos metálicos para evitar alteraciones o interferencias con el análisis del equipo.

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 Max) se midió por medio del analizador de gases MedGraficVO₂₀₀₀ (Minnesota, Estados Unidos). La validez de dicho equipo entre mediciones en diferentes días es de un coeficiente de variación de 5,3–6,0%, probado en hombres con una edad promedio de 20 años (Crouter y Otros, 2006). Con este equipo se aplicó la prueba de consumo máximo de oxígeno a las personas participantes según el protocolo de McDougall.

Por último, se utilizó el equipo completo para la realización de electrocardiograma en reposo Quinton QSTRESS 9500 Series con electrocardiógrafo de 12 derivaciones (Wisconsin, Estados Unidos) para la verificación de la adecuada funcionalidad cardíaca de las personas participantes, donde las personas participantes permanecían en reposo en una camilla con los electrodos correspondientes, mientras el equipo realizaba la lectura.

Procedimientos

Una primera sesión fue la base para dar a conocer de manera detallada la metodología del estudio a las personas participantes, sus responsabilidades y los derechos al participar en la presente investigación. En esta sesión se dieron la lectura y firma del consentimiento escrito basado en la declaración de Helsinki (ver Carta de Consentimiento Informado en Anexos). Además, se establecieron las fechas y horas para cada una de las evaluaciones.

Posteriormente, en la segunda sesión, se midieron parámetros para determinar el estado físico de los participantes, previamente a la realización de la maratón en las instalaciones de la Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida en la Universidad Nacional. Dicha sesión se llevó a cabo 15 días antes de la prueba y se midió su peso, se realizó un examen de densitometría ósea de cuerpo completo y porcentaje de grasa corporal total, una prueba de consumo máximo de oxígeno y, finalmente, un electrocardiograma en reposo para verificar la adecuada funcionalidad cardíaca de las personas participantes.

Luego, se realizó una tercera sesión tres días antes de la maratón en donde se midió el peso corporal. La siguiente y última sesión tomó lugar el día de la maratón en Tamarindo, el cual consistió en 2 partes. La primera tuvo lugar entre los 20 y 40 minutos previos a la maratón, con la evaluación de peso corporal con la ropa deportiva por utilizar durante la competencia, hematocrito y temperatura timpánica. La segunda parte ocurrió inmediatamente después de la prueba, con la evaluación de las mismas variables

anteriores. Durante el período entre el cruce de la línea de meta y la finalización de la evaluación postcarrera, se les restringió la ingesta de líquidos y/o alimentos.

Verificación de condiciones extremas

Para la verificación de las condiciones climáticas durante la carrera, se llevó un registro cada 30 minutos sobre el índice de estrés termal desde las 4 a. m. hasta las 11 a. m. el cual será descrito a continuación.

En la figura 1 se muestra el aumento gradual que presentó el índice de estrés termal durante la carrera en condiciones extremas de calor y humedad. La línea roja determina el límite establecido por el ACSM como recomendable para ejercitar (28°C), la cual es sobrepasada tras 2 horas de haber dado inicio la competencia (inicio: 5:00 a. m.) y se mantiene sobre dicho límite en el resto de la competencia, llegando a un máximo de $33,5^{\circ}\text{C}$, siendo este el último dato reportado.

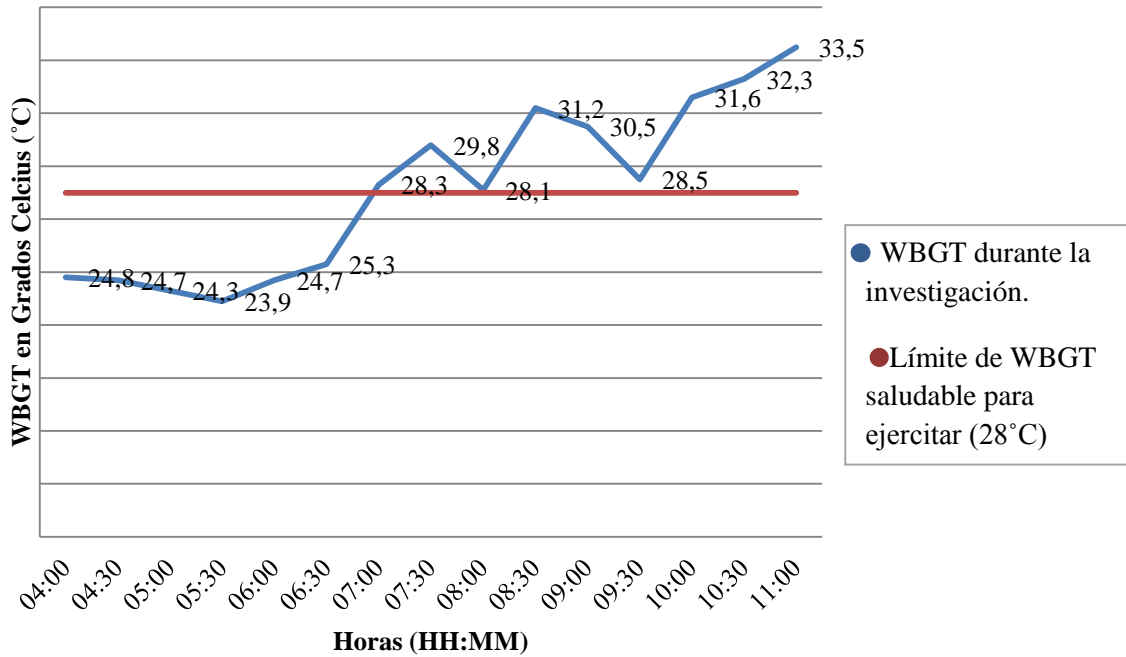


Figura 1.

Valores del índice de estrés termal reportado durante la maratón en condiciones extremas de calor y humedad.

En la figura 2 se muestra el aumento reportado en la temperatura ambiental, en el cual se inicia la competencia (5:00 a. m.) con una temperatura de 29 °C, llegando hasta un máximo 34 °C a las 11 am. Cabe destacar que a partir de las 7 a. m. la temperatura se mantiene de los 31°C en adelante.

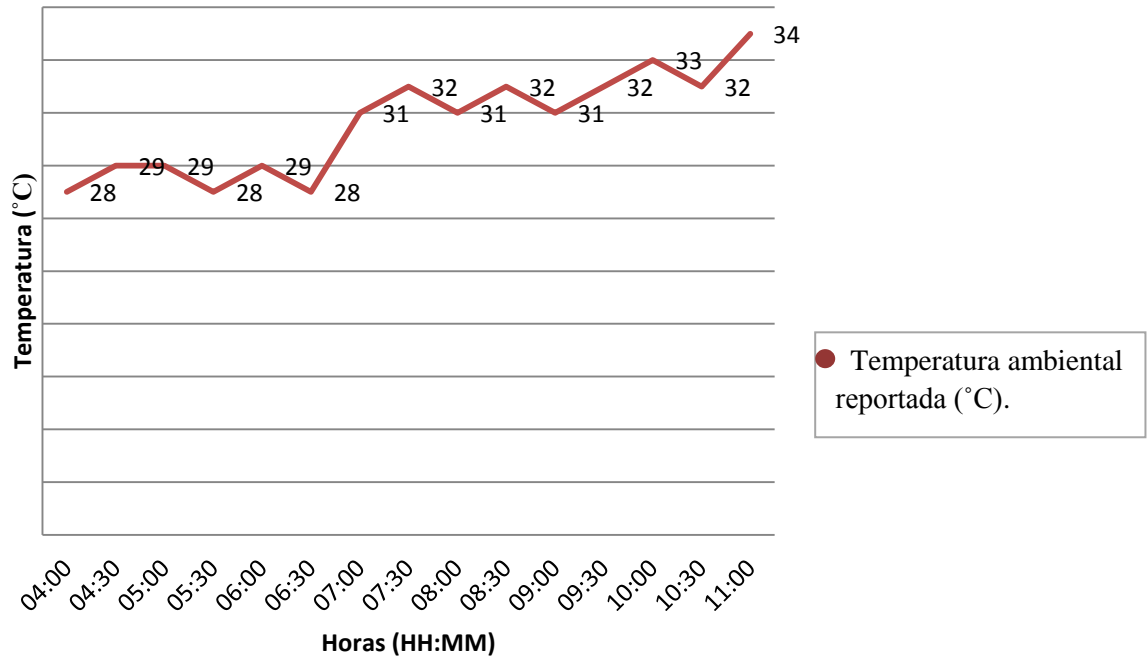


Figura 2.

Valores sobre la temperatura ambiental reportadas durante la maratón en condiciones extremas de calor y humedad.

La figura 3 muestra la manera en la que se desarrolló la humedad relativa en el transcurso de la carrera. Se observa cómo disminuye la humedad relativa desde el momento en que inicia la carrera (96%, 5:00 a. m.) hasta el momento en que se hace la última medición (44%), llegando a un pico máximo de 98%, registrado a las 5:30 a. m.

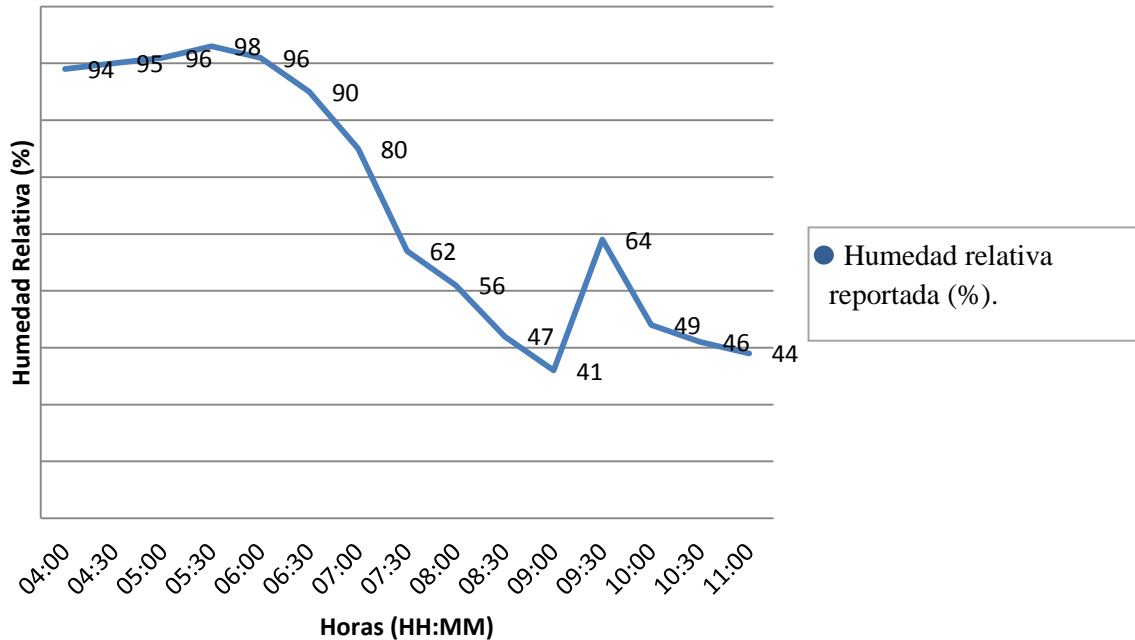


Figura 3.

Valores sobre la humedad relativa reportadas durante la maratón en condiciones extremas de calor y humedad.

Análisis estadístico

Se aplicó estadística descriptiva a todos los datos recolectados. Posteriormente, para el análisis del comportamiento de las variables dependientes (peso corporal, temperatura y hematocrito) por tiempo de medición y según género, se aplicaron tres ANOVA mixtos de 2x2. La normalidad de los datos fue comprobada mediante la prueba Z de Kolmogrov-Smirnov y la homogeneidad de las varianzas con el test de Levene paramétrico, todo esto mediante el programa estadístico SPSS Inc de IBM Corporation, versión 22.0. El grado de significancia para dichos procesos estadísticos se estableció como 0,05.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los datos descriptivos de las personas participantes a nivel general y por género, previos a la maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad. A nivel general, se puede observar que el rango del peso corporal va desde los 52,2kg hasta los 92,3kg, en el caso de la edad, va desde los 19 años hasta los 47 años y del porcentaje de grasa, desde 7,5% hasta 35,2%.

En el caso de los hombres, se destaca una amplitud de rangos existente entre variables descriptivas como la edad que va desde los 19 años hasta 44 años, el peso corporal con un mínimo de 63,8 kg y un máximo de 92,3 kg, el consumo máximo de oxígeno cuyo mínimo es de 41,4 y llega hasta 64, 2 ml/kg/min y el porcentaje de grasa que va desde 7,5% hasta 27,2%.

Por su parte, en los valores reportados por las mujeres resalta la amplitud de rangos existente entre el peso corporal previo a la maratón que va desde los 52,2kg hasta los 63,9kg, el consumo máximo de oxígeno con un mínimo de 42,2 y un máximo de 64,5 ml/kg/min y el porcentaje de grasa que va desde 16,1% hasta 35,2%.

Los datos descriptivos reportados presentan valores inferiores a los de otras investigaciones consultadas en cuanto a variables como edad, peso corporal y consumo máximo de oxígeno, los cuales serán detallados en la discusión.

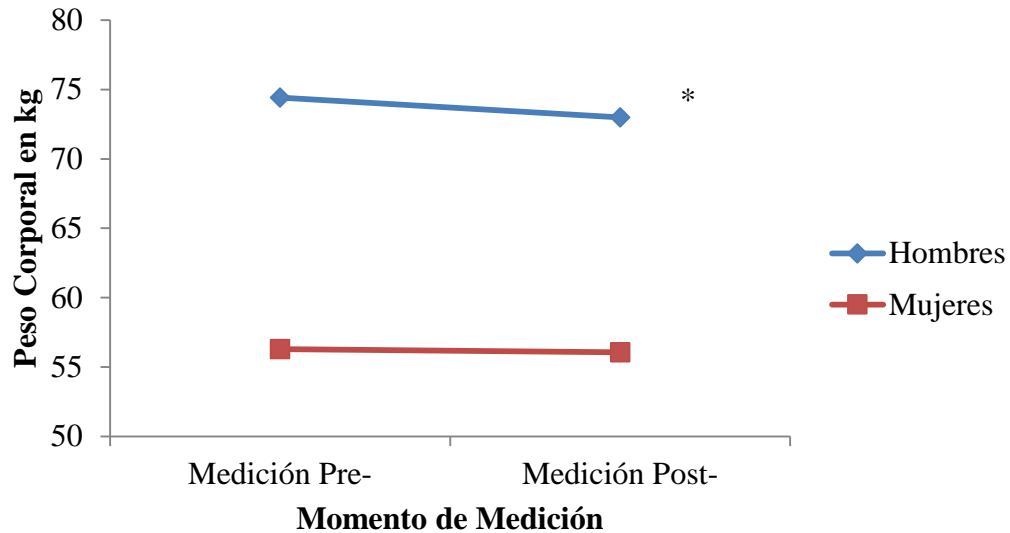
Tabla 1.

Datos descriptivos de las personas participantes de manera general y por sexo previo a la participación en la maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad.

| | General (n=18) | | Hombres (n=11) | | Mujeres (n=7) | |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|------------------|-------------|
| | Media | Rango | Media | Rango | Media | Rango |
| Edad (años) | 35,6 ± 6,9 | 19 - 47 | 33,3 ± 6.7 | 19 - 44 | 39,1 ± 6,1 | 30 - 47 |
| P.C. (kg) | 67,4 ± 11,9 | 52,2 - 92,3 | 74,4 ± 9.7 | 63,8 - 92,3 | 56,3 ± 3,7 | 52,2 - 63,9 |
| VO ₂ Máx (ml/kg/min) | 52,6 ± 7 | 41,4– 64,5 | 53,3 ± 7.1 | 41,4 - 64.2 | 51,5 ± 7,1 | 42,2 - 64,5 |
| P. Grasa (%) | 20,5 ± 7,6 | 7,5 – 35,2 | 16,7 ± 5.8 | 7,5 - 27,2 | 26,5 ± 6,1 | 16,1 - 35,2 |
| Hct (%) | 41,7 ± 3,1 | 36,9– 48,3 | 43,3 ± 2.5 | 40,1 - 48,3 | 39,2 ± 2,4 | 36,9 - 43,5 |
| Temp. (°C) | 34,7 ± 0,2 | 34,5 - 35,2 | 34,7 ± 0.2 | 34,5 - 35,2 | 34,7 ± 0,2 | 34,6 - 35,1 |

Abreviaciones: P.C.: peso corporal, VO₂ Máx: consumo máximo de oxígeno, Hct: hematocrito, Temp.: temperatura timpánica, P. Grasa: porcentaje de grasa

En la figura 4 se muestra la interacción entre las variables sexo y momentos de medición de peso corporal, realizado mediante el ANOVA (2x2), la cual indicó una relación ($F_{1,16}=8.69$, $p=0.009$) y un tamaño de efecto significativos ($\eta^2= 0.35$), en donde se destaca la pérdida de peso significativa en el caso de los hombres ($p= 0.001$), quienes pasaron de un peso pre- de 74.4 ± 9.7 kg, a un peso post- de 73 ± 9.6 kg, lo que se traduce en una disminución de 1.4 kg equivalente a una pérdida del 1.9% del peso corporal. Para el caso de las mujeres, la disminución del peso no fue significativa ($p= 0.42$), pasando de un peso pre- de 56.3 ± 3.7 kg a un peso post- de 56.1 ± 3.8 kg, lo que indica una pérdida de 0.2 kg, equivalente a un 0.4% del peso corporal.



Nota: *: diferencia significativa a nivel de ($p < .001$) con respecto a la medición pre.

Figura 4.

Comportamiento del peso corporal por momento de medición según sexo.

En el caso de las variables hematocrito y temperatura del tímpano, no se registró interacción entre sexo y momento de medición. Sin embargo, en el análisis de efectos simples de la variable de hematocrito en los momentos de medición pre- y post-, se registraron diferencias significativas ($F_1=49.84$, $p=0.001$), con un tamaño de efecto significativo ($\eta^2=0.75$) en la globalidad de los datos, es decir hombres y mujeres juntos, pasando de $41.7 \pm 3.1\%$ en la medición pre- a un hematocrito post- de $48.5 \pm 4.2\%$, lo que se traduce en un aumento de 6.8%, el equivalente a un aumento de 16.3% del hematocrito inicial.

En cuanto a comportamiento de la temperatura timpánica, en el análisis de efectos simples en los momentos de medición pre- y post-, se registraron diferencias significativas ($F_1=236.93$, $p=0.001$) y con un tamaño de efecto significativo ($\eta^2=0.93$) en la globalidad de los datos, es decir hombres y mujeres juntos, pasando de $34.7 \pm 0.18^\circ\text{C}$ a una temperatura post de $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$, lo que se traduce en un aumento de 2.3°C , el equivalente a un 6.6% de la temperatura inicial.

DISCUSIÓN

Durante la presente investigación se registraron datos de hasta 33,5°C en el índice de estrés termal, con un promedio de $28,1 \pm 3,3$ °C. La maratón dio inicio a las 5 am con un índice de estrés termal de 24,3 °C, tras 6 horas de haber dado inicio a la maratón, llegó al punto máximo registrado de 33,5° C. A partir de las 5:30 de la mañana, a 98% de humedad relativa, dicho dato desciende constantemente hasta las 9 a.m., lo cual resulta más favorable para la sudoración de los competidores. La temperatura, por su parte, se mantuvo siempre igual o superior a los 28 °C, en donde, luego, de las 7 am superó los 30 °C, teniendo su punto máximo a las 11 a. m. (34 °C). El índice de estrés termal se mantuvo en aumento progresivo durante la maratón, condición que favorece el deterioro del desempeño físico de las personas deportistas (Martin, 2007). Ejercitarse bajo estas condiciones también puede traer consecuencias adversas para la salud de los corredores, las cuales serán descritas más adelante.

Datos similares se han reportado en diversas investigaciones como la de Chevront y Haymes (2001) con el índice de estrés termal de 25 °C, Del Coso y Otros (2013) con una temperatura de 27 °C y humedad relativa del 27%, y Martin (2007) con temperatura de 33,2 °C y 36% de humedad relativa; todos considerados por sus investigadores como ambientes calurosos. En dichos estudios se encontró que la pérdida de líquidos es significativamente mayor al correr en ambientes calurosos que en ambientes moderados o fríos y que los mayores deterioros del rendimiento se presentan cuando hay un aumento progresivo del índice de estrés termal (Chevront y Haymes, 2001; Martin, 2007). Además, se encontró que el nivel de hipohidratación no afecta el grado de fatiga en corredores de maratón y mientras la reposición de líquidos sea superior a un 60% de la pérdida total de sudor, la temperatura corporal será mantenida durante el ejercicio (Chevront y Haymes, 2001; Del Coso y otros, 2013).

Debido a la tendencia a la deshidratación y al agotamiento progresivo de energía, Martin (2007) recomienda dar inicio a las carreras de larga distancia en la tarde noche, ya que a partir de este momento se va reduciendo gradualmente la radiación solar, hay poco aumento

de humedad relativa por lo que el ambiente se refresca y el desempeño deportivo se puede ver menos comprometido. Investigadores recomiendan encontrar un ritmo de carrera constante acorde con su estado físico para todo el recorrido, especialmente si se debe correr durante la mañana en condiciones extremas de calor y humedad, esto con el fin de lograr un desempeño exitoso en una maratón (Dennis y Noakes, 1999; Martin, 2007).

La población total de la presente investigación tuvo una media de edad de $35,6 \pm 6,9$ años, del cual las mujeres reportaron un mayor promedio que los hombres ($39,1 \pm 6,1$ vs. $33,3 \pm 6,7$, respectivamente). Dicha población, en su totalidad, reporta edades inferiores a las de otras investigaciones en maratones como la de Del Coso y otros (2013), con una media de 41 ± 8 años; la de Orquín-Ortega y otros (2013), con una media de 50.4 ± 9.6 ; y Chevront y Haymes (2001), con una media de 37 ± 4 años, siendo ésta la más cercana a la edad de la población de esta investigación. Además, el peso corporal promedio de la población investigada es de 67.4 ± 11.9 kg, el cual es inferior al reportado por Del Coso y otros (2013), siendo este de 70 ± 9 kg. El consumo máximo de oxígeno de las personas participantes tuvo una media de $51,5 \pm 7.1$ ml/kg/min ($51,5 \pm 7,1$ promedio femenino y $53,3 \pm 7.1$ promedio masculino), el cual es inferior al mínimo reportado por Dennis y Noakes (1999) en su investigación en corredores de maratón (mínimo reportado 58, máximo 74,4ml/kg/min), lo que indica que estas personas son aficionados. Por último, la media del porcentaje de grasa fue de $20,5 \pm 7,6\%$ para el grupo total, en el cual las mujeres presentaron una media de porcentaje de grasa de $26,5 \pm 6,1\%$, superior al de los hombres, de $16,7 \pm 5,8\%$.

El propósito fundamental de este estudio fue determinar los efectos agudos sobre el peso corporal, el hematocrito y la temperatura timpánica, según sexo, en corredores aficionados tras competir en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad. Los datos reportados a nivel general en el presente estudio se asemejan a los reportados por otros investigadores. El peso corporal promedio inicial fue de $67,4 \pm 11,9$ kg y el porcentaje de hematocrito promedio de $41.7 \pm 3.1\%$, datos muy similares a los presentados por Del Coso y otros (2013), de 70 ± 9 kg y $42,1 \pm 3\%$, respectivamente.

Los valores posteriores a la competencia, muestran, en promedio general, que las personas participantes disminuyeron el peso corporal 1 kg, representando un 1,5% de su

peso inicial, valores similares encontró Tam, Nolte y Noakes (2011), ya que las personas evaluadas reportaron una pérdida de peso del 1,7% tras recorrer 54 km; aumentaron el hematocrito 6,4%, además estos datos son consecuentes con los resultados encontrados por Orquín-Ortega y otros (2013) en 15 corredores masculinos quienes obtuvieron un aumento promedio de 6,3% en su hematocrito; al igual que aumentaron la temperatura timpánica 2,3°C, por su parte Ramos-Jiménez y Otros (2014) tras 90 min de ejercicio continuo (Spinning) a 23°C y 23 % de humedad relativa, con un protocolo de hidratación establecido, obtuvieron valores similares.

La pérdida superior a un 2% del peso corporal tras haber realizado ejercicio, puede afectar el rendimiento deportivo debido a la disminución de líquido corporal (Maughan, Whiting y Davidson, 1985; Sawka y Noakes, 2007; Sawka y Otros, 2007). Generar una pérdida de un 2% de peso por deshidratación, trae como consecuencia la hipertermia, lo que aumenta el trabajo del sistema cardiovascular, generando un aumento de la percepción del esfuerzo, reducción del flujo sanguíneo y alteración en el metabolismo en los músculos esqueléticos durante el ejercicio (Bigard y Otros, 2001; Casa y Otros, 2000; González-Alonso, Calbet y Nielsen, 1998; Montain y Coyle, 1992). Por el contrario, la ingesta de agua, por sí sola, atenúa la disminución de la fuerza neuromuscular producida por el ejercicio de moderada intensidad en ambiente caluroso; más si se le agrega un 6% de carbohidratos a dicho líquido, el efecto es aún mayor sobre la fuerza neuromuscular (Fritzsche y Otros, 2000).

Las personas participantes del presente estudio, en general, registraron una pérdida de peso corporal post maratón significativa, representando un 1,5% de su peso corporal. A diferencia del género femenino, el género masculino registró una pérdida muy cercana al 2% de su peso corporal, datos similares fueron reportados por Tam, Nolte y Noakes (2011) en la ultramaratón de Two Oceans edición 2009, en donde tras recorrer 56 km, las personas investigadas reportaron una pérdida de 1,8% de su peso corporal. Este hecho podría ser indicador de un mejor protocolo de hidratación *ad libitum* por parte de las mujeres, como también podría ser producto del efecto del peso corporal en la efectividad de la termorregulación interna, debido a que el género femenino tiene un promedio de peso corporal inferior al masculino. En esta línea, Dennis y Noakes (1999) investigaron la

variación en la producción de calor de acuerdo con el peso corporal de corredores en una maratón a 35°C y 60% de humedad relativa, en donde encontraron que con un peso corporal de 45 kg se encuentra el equilibrio térmico corriendo a una velocidad de 19,1 km/h al evaporar entre 1,5 y 1,6 L por hora, mientras que con un peso corporal de 75 kg se tendría que disminuir la velocidad de carrera a 12,2 km/h para mantener dicho equilibrio térmico. Esto quiere decir que el cuerpo más liviano produce menos calor bajo un mismo esfuerzo que uno pesado, debido a que la producción de calor depende de la masa corporal, y la disipación de este será más eficiente ya que depende de la superficie corporal, siendo esta mayor en personas con menor volumen (Dennis y Noakes, 1999). Lo anterior se traduce en que un menor peso corporal equivale a una menor pérdida de líquido por sudoración, como se ve reflejado en los datos reportados en donde se ve que las mujeres tienen un peso corporal promedio inferior al de los hombres, y a su vez, son quienes perdieron menor cantidad promedio de peso corporal post maratón.

Las diferencias entre géneros en la modificación del peso corporal como producto de la deshidratación pueden ser causados, también, por las diferencias en la regulación de fluidos del sistema endocrino entre ambos sexos (Hew-Butler, 2010; Stachenfeld y Keefer; 2002). Autores como Kaciuba-Uscilko y Grucza (2001) explican la mayor cantidad de sudoración por parte del género masculino como consecuencia de una mayor densidad de glándulas sudoríparas por cm² que las mujeres. Sumado a esto, Sawka y otros (2007) indican que el género femenino tiene una tasa de sudoración más baja que los hombres por lo que tienen un mayor riesgo de sufrir de hiponatremia asociada al ejercicio, dicha afirmación está sustentada también por Johannesen y otros (2009).

Por otro lado, durante la maratón en Mount Saint-Michel, Zouhal y Otros (2011) concluyeron que al realizar un deportista un menor tiempo en la carrera, mayor será la pérdida de peso corporal por causa de la deshidratación. Se registró un promedio de pérdida de peso de 3,1% en los corredores que terminaron la maratón en menos de tres horas, mientras que los que la concluyeron en más de cuatro horas registraron promedios de 1,8%, dato similar al reportado por los corredores de género masculino en esta investigación. De la misma manera, Del Coso y otros (2013), encontraron en su

investigación de 40 corredores en la maratón de Madrid que el grado de deshidratación, no determina el mantenimiento o la disminución del ritmo de carrera durante la competencia.

Tanto a nivel general como al separar los datos por género, se registraron datos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en cuanto al aumento del porcentaje de hematocrito post- carrera. A nivel general, así como en el grupo masculino y femenino la diferencia entre las mediciones pre- y post- competencia en hematocrito fue de un incremento promedio de 6,8%. Valores similares fueron reportados por Orquín-Ortega y otros (2013) en un estudio de 15 hombres en una maratón, en el cual se reportó un aumento en hematocrito de 6.2% (la evaluación previa se realizó tras 10 horas de ayuno).

La explicación para esta respuesta hematológica se debe a la existencia de hemoconcentración producto de la reducción del plasma sanguíneo como consecuencia de la pérdida de fluidos corporales durante el ejercicio y la deficiente reposición de los mismos (Del Coso y otros, 2013; Orquín-Ortega y otros, 2013; Sánchez-González, Rivera-Cisneros y Tovar, 2003; Shirreffs, 2003). Entre mayor sea la duración e intensidad del ejercicio, mayor será la hemoconcentración sanguínea y la disminución del volumen sanguíneo total (Bonilla, 2005). Después de una maratón, los cambios reportados de volumen plasmático van desde 6,5%, hasta el 13,3%, con un máximo de duración de 2 a 3 días para volver al nivel presentado pre-carrera (Robertson, Maughan y Davidson, 1988 y Röcker y otros, 1989).

En la presente investigación, se muestra una incongruencia entre los valores de peso corporal y hematocrito como indicadores de deshidratación de las personas participantes. En el caso de los hombres, se reporta un cambio significativo ($p < 0,05$) tanto en el peso corporal postcarrera, como en el porcentaje de hematocrito; por el contrario, el género femenino muestra cambios significativos ($p < 0.05$) en el porcentaje de hematocrito y no significativos en el peso corporal. Este hecho fue, también, reportado por Weitkunat y otros (2012) en su investigación con nadadores de aguas abiertas de ultrarresistencia, en donde las 11 mujeres analizadas presentaron aumento en el porcentaje de hematocrito (+3%), mientras que el peso corporal se mantuvo igual (diferencia de -0,1kg), por el contrario, los 20 hombres analizados tuvieron un aumento de hematocrito menor (+1.7%) al

de las mujeres, pero su peso corporal tuvo una mayor disminución que el de las mismas (-0,5kg).

Es importante destacar dentro de los valores reportados, que tanto perdiendo un 1.5% (promedio de pérdida general del grupo), como un 1,9% (promedio de pérdida del género masculino), o un 0,4% (promedio de pérdida del género femenino) del peso corporal tras competir en dicha maratón, el incremento en el porcentaje de hematocrito se mantuvo constante para los 3 grupos (6,8%), a pesar de las grandes variaciones de pérdida de peso corporal. Se reportó que el grupo de sujetos con mayor porcentaje de pérdida de peso corporal, fue el que también tuvo un menor porcentaje de cambio en hematocrito y viceversa (hombres: porcentaje de pérdida de peso= 1,9%, porcentaje de aumento de hematocrito= 15,7%; mujeres: porcentaje de pérdida de peso= 0.4%, porcentaje de aumento de hematocrito= 17,4%). De igual manera, se han realizado estudios que muestran pérdidas superiores al 3% de su peso corporal, por sudoración principalmente, sin que los cambios en hematocrito indiquen dicha pérdida de fluidos (Armstrong y Otros 1994, 1998; Francesconi y Otros 1987). En este sentido, Shirreffs (2003) explica este acontecimiento como una posible respuesta del organismo para proteger al sistema cardiovascular ante cierto grado de hipohidratación, conservando, así, la cantidad de plasma sanguíneo y por consiguiente limitando el aumento en la concentración de hematocrito en sangre.

Estos datos demuestran que el porcentaje de hematocrito en la sangre podría no ser un fiel indicador del estado de hidratación real de una persona. Por esta razón, Shirreffs (2003) sugiere utilizar los parámetros de orina, como el color y la osmolalidad; y la concentración de noradrenalina en plasma sanguíneo como método de medición más exacto del nivel de deshidratación al realizar ejercicio en condiciones de calor, ya que ha demostrado tener una relación cercana al grado de deshidratación.

Ramos-Jiménez y otros (2014) en su investigación a 12 hombres y 9 mujeres descubrió que, tras 90 minutos de ejercicio continuo (con temperatura de 23 °C y 23% de humedad relativa) sin hidratación, los hombres reportaron una pérdida de masa corporal ligeramente superior al de las mujeres, mientras que al mantener un protocolo personalizado de hidratación, no se manifestó dicho cambio y las respuestas fisiológicas fueron similares en ambos sexos. Además, encontraron que el grado de deshidratación no alteró el desempeño

físico, pero sí los parámetros fisiológicos (temperatura, frecuencia cardíaca y presión sanguínea) independientemente del género.

Por último, se encontró un aumento significativo en la temperatura timpánica post-carrera tanto en el género femenino como masculino (2,3 °C y 2,2 °C, respectivamente). Estos cambios de temperatura timpánica fueron similares a los encontrados por Ramos-Jiménez y otros (2014) tras 90 minutos de ejercicio continuo (*Spinning*) a 23 °C y 23% de humedad relativa, con un protocolo de hidratación establecido, mientras que en la presente investigación se presentaron resultados similares con temperaturas y humedad relativa mayores. La temperatura postcompetencia del género femenino (37,1°C) se asemeja a la temperatura media encontrada por Chevront y Haymes (2001) en su investigación de 8 corredoras de maratón al correr 30 km a una temperatura ambiental de 25 °C (también considerada como calurosa) siendo esta de 37.4 °C. Temperaturas internas de 38 y 40 °C se han registrado en corredores de maratón y ultramaratón que han colapsado durante la misma (Kenefick y Sawka, 2007; Sandell, Pascoe y Noakes, 1988). Gonzalez-Alonso, Calbet y Nielsen (1998) demostraron que temperaturas corporales altas tienen una elevada correlación con la fatiga por causa de la deshidratación durante el ejercicio.

En síntesis, esta investigación demuestra que si se compite en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad las consecuencias fisiológicas para el organismo pueden ser muy perjudiciales para la salud y el rendimiento. Por lo tanto, para contrarrestar dichos efectos es indispensable contar con un buen protocolo de hidratación. Aunque las personas participantes corrieran bajo condiciones extremas de calor y humedad, los resultados reportados fueron similares a los de maratones bajo condiciones calurosas menos extremas, razón por la cual este estudio adquiere gran relevancia, ya que incita a ampliar la investigación de dicho tema para comparar los efectos del índice de estrés termal extremo (superior a los 28 °C) sobre el nivel de hidratación en corredores de maratón en diferentes localidades.

CONCLUSIONES

Es importante evidenciar que los efectos agudos sobre el peso corporal, la hematocrito y la temperatura timpánica en corredores aficionados, hombres y mujeres, que competieron en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad, muestran que los valores de hematocrito antes de la competencia reportaron valores de normalidad, sin embargo, una vez finalizada la competencia y con un índice de estrés termal promedio de $28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, el valor promedio de incremento de hematocrito fue de 6,8%.

Se determinó que no existe diferencia entre géneros respecto a los efectos agudos sobre el hematocrito en corredores aficionados al competir en una maratón bajo condiciones extremas de calor y humedad. Caso contrario sucedió con el cambio de peso corporal, en donde las mujeres tuvieron una pérdida significativamente menor de peso corporal que los hombres debido a que dicho género tiene una menor tasa de sudoración producto de la diferencia de regulación de fluidos del sistema endocrino entre ambos sexos.

Si bien las condiciones climáticas fueron extremas (con un índice de estrés termal promedio de $28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) se determinó que los efectos agudos sobre el peso corporal, el hematocrito y la temperatura reportados son similares los de otros estudios realizados sobre hidratación en maratones bajo condiciones más favorables. Sin embargo, en la mayoría de las investigaciones encontradas se establecieron protocolos de hidratación para los corredores, mientras que en la presente no se realizó tal medición.

RECOMENDACIONES

Para futuras estudios sobre balance de fluidos, se recomienda utilizar más variables para medir los corporales aparte del hematocrito como, por ejemplo, el volumen del plasma sanguíneo o parámetros en la orina así como, también, se recomienda ampliar la cantidad de sujetos de estudio para obtener datos que se puedan generalizar más a toda la población. Además, es conveniente contar con un protocolo personalizado de hidratación con el objetivo de evitar tanto un estado de hipohidratación perjudicial para su rendimiento y su salud, como una hiperhidratación que les pueda causar malestares digestivos y pesadez durante la carrera. A futuros organizadores de dichas carreras en condiciones extremas, se sugiere reforzar los puestos hidratación para las personas participantes con el fin de disminuir las posibilidades del atleta de caer en estado de hipohidratación.

Esta investigación es de gran relevancia para la comunidad científica y deportiva de Costa Rica porque abre puertas para desarrollar futuras investigaciones relacionadas con peso corporal, hematocrito y temperatura timpánica en corredores adultos aficionados de maratón, tanto hombres como mujeres, tema que ha sido poco profundizado a nivel nacional. Asimismo, la presente investigación brinda hechos reales sobre los riesgos a los que se someten los corredores aficionados, mujeres y hombres al competir en maratones bajo condiciones extremas de calor y humedad y, a su vez, propone ideas para proteger la integridad física de los corredores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3M Company, Personal Safety Division (2013, octubre). *Manage The Heat. Proven Solutions for Heat Stress Management*, [en línea]. Estados Unidos. Recuperado de <http://multimedia.3m.com/mws/media/7979890/3m-questemp-heat-stress-monitor.pdf>.
- Accuweather (2013). Temperatura en grados centígrados de Tamarindo, Costa Rica. Pennsylvania, United States of America. Recuperado de <http://www.accuweather.com/en/cr/tamarindo/1179309/september-weather/1179309?monyr=9/1/2013>.
- Aragón-Vargas, L., Wilk, B., Timmons, B., Bar-Or, O. (2013). Body Weight Changes in Child and Adolescent Athletes during a Triathlon Competition. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 233-239. DOI: 10.1007/s00421-012-2431-8.
- Armstrong, L., Casa, D., Millard-Stanford, M., Moran, D., Pyne, S., & Roberts, W. (2007). *American College of Sports Medicine. Position Stand: Exertional Heat Illness During Training and Competition*. *Medicine and Science in Sports And Exercise*, 556-572. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31802fa199.
- Armstrong, L., Maresh, C., Castellani, J., Bergeron, M., Kenefick, R., LaGasse, K., y Riebe, D. (1994). Urinary Indices of Hydration Status. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 264-279. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7987361>
- Armstrong, L., Soto, J., Hacker, F., Casa, D., Kavouras, S., & Maresh, C. (1998). Urinary Indices During Dehydration, Exercise and Rehydration. *International Journal Of Sport Nutrition*, 8, 345-355. Recuperado de <http://connection.ebscohost.com/c/articles/6626246/urinary-indices-during-dehydration-exercise-rehydration>.
- Bigard, X., Sánchez, H., Claveyrolas, G., Martin, S., Thimonier, B., Arnauld, M. (2001). Effects of Dehydration and Rehydration on EMG Changes during Fatiguing

- Contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10) , 1694-1700. DOI: 0195-9131/01/3310-1694/.
- Bonilla, J. (2005). Respuesta Hematológica al Ejercicio. *Revista Ciencias de la Salud* , 3 (2), 206-216. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56230209>.
- Casa, D., Armstrong, L., Hillman, S., Montain, S., Reiff, R., Rich, B., Roberts, W., Stone, J. (2000). National Athletes Trainers´ Association Position Stand: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training*, 35 (2), 212-224. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1323420/pdf/jathtrain00002-0094.pdf>.
- Cheung, S., Mclellan, T., & Tenaglia, S. (2000). The Thermophysiology of uncompensable heat stress: physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Medicine*, 29(5), 329-359. DOI: 10.2165/00007256-200029050-00004.
- Cheuvront, S., & Haymes, E. (2001). Ad Libidum fluid Intakes and Thermoregulatory responses on Female distance runners in Three Environments. *Journal Of Sports Science* , 19, 845-854. DOI: 10.1080/026404101753113796.
- Crouter, S., Antczak, A., Hudak, J., Della Valle, D., & Haas, J. (2006). Accuracy and Reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and Medgraphics VO2000 Metabolic Systems. *European Journal of Applied Physiology*, 98 (2), 139-151. DOI 10.1007/s00421-006-0255-0.
- Del Coso, J., Fernández, D., Abián-Vicen, J., Salinero, J. J., González-Millán, C., Areces, F., ... & Pérez-González, B. (2013). Running Pace Decrease during a Marathon Is Positively Related to Blood Markers of Muscle Damage. *PLOS One* , 8 (2), e57602. DOI: 10.1371/journal.pone.0057602.
- Del Coso, J., Salinero, J., Abián-Vicen, J., González-Millán, C., Garde, S., Vega, P., y Pérez-González, B. (2012). Influence of Body Mass Loss and Myoglobinuria on the Development of Muscle Fatigue After a Marathon in a Warm Environment. *NRC Research Press* , 38, 286-291. DOI: 10.1139/apnm-2012-0241.

- Dennis, S., & Noakes, T. (1999). Advantages of a Smaller Bodymass in Humans When Distance-Running in Warm, Humid Conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79 (3), 280-284. DOI: 10.1007/s004240000432.
- Federación Costarricense de Atletismo. (3 de octubre del 2013). *Calendario de Ruta I Cuatrimestre del 2014*. Recuperado de: <http://www.fecoa.org/comision-de-ruta/>.
- Fox News. (2007). Heat Shuts Down Chicago Marathon, Leaves One Runner Dead, Scores Hospitalized. <http://www.foxnews.com/story/2007/10/08/heat-shuts-down-chicago-marathon-leaves-one-runner-dead-scores-hospitalized/>.
- Francesconi, R., Hubbard, R., Szlyk, P., Schnakenberg, D., Carlson, D., Leva, N...Young, J. (1987). Urinary and Hematological Indexes of Hydration. *Journal of Applied Physiology*, 62, 1271-1276. Recuperado de: <http://jap.physiology.org/content/62/3/1271>.
- Fritzsche, R., Switzer, T., Hodgkinson, B., Lee, S.-H., Martin, J., & Coyle, E. (2000). Water and Carbohydrate Ingestion During Prolonged Exercise Increase Maximal Neuromuscular Power. *Journal of Applied Physiology*, 88, 730-737. Recuperado de: <http://jap.physiology.org/content/88/2/730.full-text.pdf+html>.
- Gonzalez-Alonso, J. (2007). Hyperthermia impairs brain, heart and muscle function in exercising humans. *Sports Med*, 37, 371-373. DOI: 0112-1642/07/0004-0371.
- González-Alonso, J., Calbet, J., & Nielsen, B. (1998). Muscle Blood Flow is Reduced with Dehydration During Prolonged Exercise in Humans. *Journal of Physiology*, 513.3, 895-905. DOI: 10.1111/j.1469-7793.1998.895ba.x.
- Hamilton, M., González-Alonso, J., Montain, S. & Coyle, E. (1991). Fluid Replacement and Glucose Infusion During Exercise Prevent Cardiovascular Drift. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 871-877. Recuperado de <http://sock-doc.com/wp-content/uploads/2013/09/Cardiovascular-Drift.pdf>.

- Hew-Butler, T. (2010). Arginine, Vasopressin, Fluid Balance And Exercise. *Sports Medicine* , 40, 459-479. DOI: 10.2165/11532070-000000000-00000.
- Johannesen, N., Lind, E., King, D., & Sharp, R. (2009). Effect of Preexercise Electrolyte Ingestion on Fluid Balance in Men and Women. *Medicine and Science in Sport and Exercise* , 41 (11), 2017-2025. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181a82940.
- Kaciuba-Uscilko, H., & Grucza, R. (2001). Gender Differences in Thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition And Metabolic Care*, 4 (6), 533-536. DOI: 10.1097/00075197-200111000-00012.
- Kenefick, R., & Sawka, M. (2007). Heat Exhaustion and Dehydration as Causes of Marathon Collapse. *American Journal of Sports Medicine* , 37 (4-5), 378-381. DOI: 0112-1642/07/0004-0378.
- Martin, D. (2007). Strategies for Optimising Marathon Performance in the Heat. *Sports Medicine* , 37, 324-327. DOI: 0112-1642/07/0004-0324.
- Maughan, R. (2010). Distance running in hot environment: a thermal challenge to the elite runner. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport* , 20 (3), 95-102. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2010.01214.x.
- Maughan, R., Whiting, P., Davidson, R. (1985). Estimation of Plasma Volume Changes During Marathon Running. *British Journal of Sports Medicine*, 19 (3), 138-141. DOI: 10.1136/bjism.19.3.138.
- Montain, S & Coyle, E. (1992). Influence of Graded Dehydration on Hyperthermia and Cardiovascular Drift during Exercise. *Journal of Applied Physiology*, 73 (4), 1340-1350. Recuperado de: <http://jap.physiology.org/content/73/4/1340>.
- Mountain, S., & Tharion, W. (2010). Hypohydration and muscular fatigue of the thumb alter median nerve somatosensory evoked potentials. *NRC Research Press*, 35, 456-463. DOI: 10.1139/H10-032.

- Norcross, J., & Van Loan, M. (2014). Validity of Fan Beam Dual Energy X Ray Absorptiometry for Body Composition Assessment in Adults Aged 18-45 Years. *British Journal Of Sports Medicine* , 38, 472-476. DOI: 10.1136/bjism.2003.005413.
- Oficina de Meteorología. (2 de mayo del 2010). Recuperado el 22 de Diciembre de 2014, de Gobierno de Australia: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/.
- Orquín-Ortega, E., Vega-Ruiz, V., Ribelles, A., & López, B. (2013). Cambios Hematológicos en Corredores Populares Después de una Maratón (Test de Estrés). *Revista Cubana de Medicina del Deporte y la Cultura Física* , 8 (1). Recuperado de: <http://www.imd.inder.cu/adjuntos/article/311/Cambios%20hematologicos%20en%20corredores.pdf>.
- Ramos-Jiménez, A., Hernández-Torres, R., Wall-Medrano, A., Torres-Durán, P., Juárez-Oropeza, M., Vilorio, M., & Villalobos-Molina, R. (2014). Respuestas Fisiológicas Asociadas al Género e Hidratación durante el Spinning. *Nutrición Hospitalaria* , 29 (3), 644-651. DOI: 10.3305/nh.2014.29.3.7017.
- Rehrer, N. (2001). Fluid and Electrolyte Balance in Ultra-Endurance Sport. *Sports Medicine* , 31 (10), 701-715. DOI: 10.2165/00007256/200131100-00001.
- Robertson, J., Maughan, R., & Davidson, R. (1988). Changes in Red Cell Density and Related Indices in Response to Distance Running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* , 57 (2), 264-269. DOI: 10.1007/BF00640674
- Röcker, L., Kirsch, K., Heyduck, B., & Altenkirch, H. (1989). Influence in Prolonged Physical Exercise on Plasma Volume, Plasma Proteins, Electrolytes, and Fluid-Regulating Hormones. *International Journal of Sports Medicine* , 10 (4), 270-274. DOI: 10.1055/s-2007-1024914.
- Rodríguez, J. L. (26 de Enero de 2014). Atletismo espera este año 165 carreras. *La Nación*. Disponible en: http://www.nacion.com/deportes/Atletismo-espera-ano-carreras_0_1392860793.html.

- Rodríguez, J. L. (01 de Setiembre de 2013). Costa Rica es el que más organiza carreras pedestres a nivel latinoamericano. *La Nación*. Disponible en: http://www.nacion.com/deportes/atletismo/Costa-Rica-carreras-pedestres-latinoamericano_0_1363463737.html.
- Rojas, D., Rojas, Y. & Santiago, E. (2004). Efecto de un Programa de Ejercicios Físicos Sistemáticos sobre la Composición Corporal en Empleados de la Universidad de los Llanos. *Revista Impetus*, 78 (9), 67-69. Recuperado de: <http://web.unillanos.edu.co/docus/RevistaimpetusVol.78%28capitulo%2009%29.pdf>.
- Rowell, L. (1974). Human Cardiovascular Adjustments to Exercise and Thermal Stress. *Physiological Reviews*, 54, 75-159 . DOI:10.1080/00140139.2015.1026406.
- Sánchez-González, J., Rivera-Cisneros, A., & Tovar, L. (2003). Asociación de las Respuestas Fisiológicas a los Cambios Metabólicos, en el Ejercicio Físico Extenuante. *Cirujía y Cirujanos. Academia Mexicana de Cirujía* , 71 (3), 217-225. Recuperado de: <http://www.medigraphic.com/pdfs/circir/cc-2003/cc033h.pdf>.
- Sandell, R., Pascoe, M., & Noakes, T. (1988). Factors Associated with Collapse During and After Ultramarathon Footraces: A Preliminary Study. *Physician and Sportsmedicine* , 16 (9), 86-94. DOI:10.1097/00005768-199610000-00050.
- Sawka, M., & Noakes, T. (2007). Does Dehydration Impair Exercise Performance? *Medicine and Science in Sport and Exercise* , 39, 1209-1217. DOI: 10.1249/mss.0b013e318124a664.
- Sawka, M., Burke, L., Eichner, E., Maughan, R., Montain, S., & Stachenfeld, N. (2007). American College Of Sport Medicine Position Stand. Exercise and Fluid Replacement. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 39, 377-390. DOI: 10.1249/mss.0b013e31802ca597.
- Shirreffs, S. (2003). Markers of Hydration Status. *European Journal of Clinical Nutrition* , 57, S6-S9. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1601895.

- Simpson, M., & Howard, T. (2011). American College of Sports Medicine. Brochure: ACSM information on Selecting and Effectively Using Hydration for Fitness. Recuperado de: <https://www.acsm.org/docs/brochures/selecting-and-effectively-using-hydration-for-fitness.pdf>.
- Stachenfeld, N., & Keefer, D. (2002). Estrogen Effects on Osmotic Regulation of AVP and Fluid Balance. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 283, E711-E721. DOI: 10.1152/ajpendo.00192.2002.
- Tam, N., Nolte, H., & Noakes, T. (2011). Changes in Total Body Water Content During Running Races of 21.1km and 56 km in Athletes Drinking Ad Libitum. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 21 (3), 218-225. DOI: 10.1097/JSM.0b013e31820eb8d7
- Tanita Corporation. (2005). *Manual de Instrucciones de Tanita Ironman InnerScan. Body Composition Monitor. Modelo BC-554*. Recuperado el 27 de noviembre del 2015 de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiyjaeV1rbJAhWG4CYKHQbjCuMQFggfMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.tanita.com%2Fen%2F.downloads%2Fdownload%2F%3Ffile%3D855638034&usg=AFQjCNHv15_hTyEdGEjIGeiw-WB3Hnrusg&sig2=33hO3F9ZJucPwetKdqw1Rw&bvm=bv.108194040,d.eWE.
- Weitkunat, T., Knechtle, B., Knechtle, P., Rüst, C., & Rosemann, T. (2012). Body Composition and Hydration Status Changes in Male and Female Open-Water Swimmers during an Ultra-Endurance Event. *Journal of Sport Science*, 30 (10), 1003-1013. DOI: 10.1082/02640414.2012.682083.
- Wilk, B., Aragón-Vargas, L., Bar-Or, O. (2001). Involuntary Dehydration in Children and Adolescents Following a Triathlon Race in a Hot Climate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5), S137. DOI: 10.1097/00005768-200105001-00782.
- Zouhal, H., Groussard, C., Minter, G., Vincent, S., Cretual, A., Gratas-Delamarche, A., ... & Noakes, T. (2011). Inverse Relationship Between Percentage Body Weight Change And Finishing Time In 643 Forty-Two-Kilometre Marathon Runners. *British Journal Of Sports Medicine*, 45, 1101-1105. DOI: 10.1136/bjism.2010.074641.

ANEXOS



Universidad Nacional
Facultad Ciencias de la Salud
Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida

Nombre de la actividad o proyecto: Efectos Agudos sobre el Hematocrito, la Temperatura Timpánica y Peso Corporal, según el Sexo, en Corredores Aficionados, al Competir en una Maratón en Condiciones Extremas de Calor y Humedad

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

De acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki y con La ley General de Salud, Título Segundo, “De los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos”, CAPITULO I: Disposiciones Comunes Artículos 13 y 14.- En toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberán prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y bienestar. Debido a que esta investigación se consideró como riesgo mínimo o mayor de acuerdo al artículo 17 y en cumplimiento con los aspectos mencionados con el Artículo 21, se manifiesta que:

- I. Ante los recientes avances en tecnologías para mediciones de variables físicas y fisiológicas, por medio de telemetría, del seguimiento satelital que permiten recoger información fisiológica de diferente naturaleza, así como aparatos de alta tecnología como el termómetro para temperatura interna con sensor de píldora, para la medición en tiempo real de la temperatura interna del atleta durante la prueba. También el analizador de gases para determinar el consumo máximo de oxígeno. El tensiomiógrafo neuromuscular para determinar la condición muscular en condiciones de normalidad y fatiga. La cámara termográfica para cuantificar la temperatura corporal superficial como posible indicador de

sobrecalentamiento relacionado con deshidratación y lesión muscular. Además de la medición completa antropométrica en cuantificación de variables como peso ósea, densidad ósea, peso magro y porcentaje de grasa corporal a través de la Densitometría. Una prueba de esfuerzo utilizando una banda sin fin con electrocardiógrafos de 12 derivaciones y mediciones de peso corporal y talla mediante una balanza y tallímetro. Toma de muestra de sangre para valorar daño muscular mediante el análisis del índice en sangre de la enzima Creatina fosfoquinasa. Y, finalmente, el análisis de un registro diario de alimentación para valorar el estado de reservas de hidratos de carbono previo a la competición.

Esta serie de aparatos tecnológicos permite hoy en día un análisis del estado físico y de salud de un sujeto y un nivel de medición durante el recorrido de una maratón que anteriormente no se tenía.

Este avance en las tecnologías también permite determinar con más precisión científica los efectos que el deporte como tal provoca en los practicantes, con el objetivo de desarrollar mejores métodos de entrenamiento, o para valorar si la práctica deportiva como tal pone en algún tipo de peligro al deportista.

- II. El presente estudio consiste en la evaluación del estado físico y nutricional deportivo haciendo uso de los avances tecnológicos arriba descritas con el objetivo de determinar los efectos causados sobre parámetros fisiológicos y físicos en maratonistas amateurs, durante el recorrido de la maratón de Tamarindo 2014. El estudio no representa ningún riesgo adicional a la realización del deporte que el sujeto realiza regularmente y no se verá expuesto a prácticas de intervención corporal u orgánica. Se monitorearán variables físicas y fisiológicas durante el recorrido de la maratón como distancia, velocidad, impactos y frecuencia cardiaca.

Por tanto,

- III. Entiendo que mi participación en el presente estudio no conllevará futuras complicaciones y/o efectos secundarios, a corto y largo plazo sobre mi salud, adicionales a los riesgos regulares de la práctica de ejercicio físico, pero que no irá más allá de mi práctica deportiva diaria.
- IV. Se me ha explicado que el presente estudio ayudará a determinar la carga física y fisiológica y la prevención de cargas excesivas corporales que la modificación de las reglas de juego en el fútbol puede conllevar.
- V. Se me ha comunicado que se resolverá cualquier duda acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación. Se me ha asegurado que puedo preguntar hasta mi complacencia todo lo relacionado con el estudio y mi participación
- VI. Se me aclaró que puedo abandonar el estudio en cuanto yo lo decida, sin que ello afecte mi confidencialidad y/o reciba reprimendas de algún tipo.
- VII. Autorizo la publicación de los resultados de mi estudio a condición de que, en todo momento, se mantendrá el secreto profesional y que no se publicará mi nombre o revelará mi identidad.
- VIII. En caso de que presente algún malestar (lesiones u otros) debido a los procedimientos del estudio, se me prestará la atención y consideración debida o en su caso abandonar el estudio.
- IX. Entiendo que mi participación en el presente estudio no me significará ningún gasto adicional.

Con fecha _____, habiendo comprendido lo anterior y una vez que se me aclararon todas las dudas que surgieron con respecto a mi participación en el proyecto, yo _____, con número de cédula _____ acepto participar en el estudio titulado:

Efectos Agudos sobre el Hematocrito, la Temperatura Timpánica y el Peso Corporal, según el Sexo, en Corredores Aficionados al Competir en una Maratón en Condiciones Extremas de Calor y Humedad.

Nombre y firma del paciente o responsable legal

Nombre y firma del Investigador Responsable o Principal

Nombre y firma de quien aplica el consentimiento informado

Este documento se extiende por triplicado, queda un ejemplar en poder del sujeto de investigación o de su representante legal, otro en poder del investigador y el tercero deberá integrarse al expediente del sujeto.